



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PÚBLICA 911 CON  
TECNOLOGÍA DE RADIO DIGITAL TRONCALIZADO EN LA  
CIUDAD DE GUATEMALA**

Nilson Omar Velásquez Tello

Asesorado por: Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, abril de 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PÚBLICA 911 CON  
TECNOLOGÍA DE RADIO DIGITAL TRONCALIZADO EN LA  
CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**NILSON OMAR VELÁSQUEZ TELLO**

ASESORADO POR: INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	
<b>VOCAL II</b>	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
<b>VOCAL III</b>	Ing. Julio David Galicia Celada
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>VOCAL V</b>	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Luis Eduardo Duran Córdova
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vásquez
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PÚBLICA 911 CON TECNOLOGÍA DE RADIO DIGITAL TRONCALIZADO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 de octubre de 2005.

**NILSON OMAR VELÁSQUEZ TELLO**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Jesucristo:** Mi Dios y Salvador, a Él toda la gloria y honra.

**Mis Padres:** José Enrique Velásquez González (Q.E.P.D), Maria Cristina Tello de Velásquez, gracias por la oportunidad y el apoyo incondicional brindado.



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, mi familia y a todas las personas que han contribuido en mi formación profesional y en la realización de este trabajo de graduación.



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>GLOSARIO</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	XI
<b>OBJETIVOS</b>	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XV
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA A CUBRIR Y SERVICIOS PÚBLICOS DE SEGURIDAD</b>	<b>1</b>
1.1 Seguridad pública en Guatemala	1
1.1.1 Tipos y métodos de servicios de seguridad pública	1
1.1.2 Organizaciones encargadas de prestar servicios públicos de seguridad en Guatemala	5
1.2 Límites de ciudad de Guatemala	10
1.2.1 Preselección de poblaciones	12
1.3 Límites de cobertura de los servicios públicos de Seguridad	21
<b>2. SISTEMAS DE RADIO MÓVIL Y SISTEMA DE EMERGENCIA 911</b>	<b>23</b>
2.1 Sistemas móviles de radiocomunicación	23
2.1.1 Antecedentes históricos	23
2.1.2 Elementos de un sistema de comunicación móvil	25
2.1.3 Tipos de servicios móviles	28
2.2 Sistemas de radiocomunicación privada	29
2.2.1 Técnicas de transmisión	29

2.2.1.1	Tipos de señales	30
2.2.1.2	Modulación	30
2.2.1.3	Técnicas de acceso	36
2.2.1.4	Encriptación	37
2.2.2	Clasificación de sistemas	39
2.2.3	Técnicas de extensión de cobertura	41
2.3	Sistemas troncalizados	43
2.3.1	Sistema troncalizado centralizado	44
2.3.2	Sistema troncalizado descentralizado	46
2.3.3	Modos de troncalización	47
2.3.4	Análisis de tráfico	47
2.3.5	Banda de frecuencia	50
2.3.6	Efectos de propagación	51
2.3.7	Tipos de sistemas	52
2.3.8	Cálculo de cobertura	53
2.3.9	Interconexión	56
2.3.10	Ventajas y desventajas con relación al sistema convencional	56
2.4	Sistema 911	57
2.4.1	Funcionamiento básico	57
2.4.2	Medidas de seguridad	58
2.4.3	Interoperabilidad	58
<b>3.</b>	<b>ESTÁNDARES DE RADIOCOMUNICACIÓN APLICADOS A SEGURIDAD PÚBLICA</b>	<b>61</b>
3.1	Estándares	61
3.1.1	Tipos de estándares	61
3.1.2	Estándares aplicados a seguridad pública	62
3.2	TETRA	62

3.2.1	Formato de modulación	63
3.2.2	Método de acceso	63
3.2.3	Señales digitales	64
3.2.4	Modos de llamada	65
3.2.5	Características de llamada	65
3.2.6	Banda de frecuencia usada en los canales	66
3.2.7	Modos de operación	67
3.2.8	Rendimiento y potencias de transmisión	68
3.2.8.1	Rendimiento	68
3.2.8.2	Potencias de transmisión	69
3.3	APCO Project 25	70
3.3.1	Fases de Project 25	70
3.3.2	Acceso multiusuario	71
3.3.3	Modulación	71
3.3.4	Codificación y decodificación	72
3.3.5	Características de señalización	73
3.3.6	Interfaz	73
3.3.7	Configuración de sistemas	74
3.3.8	Métodos de llamadas	75
3.4	Comparación entre estándares	75
<b>4.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE EMERGENCIA 911</b>	<b>77</b>
4.1	Diseño con TETRA	77
4.1.1	Cálculo de cobertura	77
4.1.2	Análisis de tráfico	79
4.1.3	Planificación de frecuencias	82
4.2	Diseño con Project 25	84
4.2.1	Cálculo de cobertura	84
4.2.2	Análisis de tráfico	86

4.2.3	Planificación de frecuencias	88
4.3	Configuración del sistema	90
<b>CONCLUSIONES</b>		93
<b>RECOMENDACIONES</b>		95
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		97
<b>APÉNDICES</b>		99
<b>ANEXOS</b>		107

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Mapa de la ciudad de Guatemala	11
2	Acciones en comisarías capitalinas	18
3	Esquemas de modulación AM y FM	31
4	Esquema de modulación BPSK	32
5	Esquema de modulación QPSK	34
6	Constelación de modulación M-QAM y M-aria	35
7	Esquema de modulación FSK	36
8	Modos de operación del sistema convencional	41
9	Sistema troncalizado centralizado	45
10	Zona de cobertura sistema TETRA	80
11	Asignación de tráfico sistema Project 25	87
12	Cuadrícula de zona de cobertura sistema TETRA	98
13	Cuadrícula de zona de cobertura sistema P25	101

## TABLAS

I	Censo de población y habitación año 2002	13
II	Censo de población por departamento	14
III	Densidad poblacional por departamento	15

IV	Densidad poblacional por municipio del departamento de Guatemala	16
V	Accidentes de tránsito años 2002 y 2003	17
VI	Acciones efectuadas por policía capitalina	18
VII	Población de zonas peligrosas año 2005	19
VIII	Características de zonas capitalinas	20
IX	Indicadores de estación base sistema TETRA	78
X	Datos de las celdas sistema TETRA	79
XI	Canales del sistema 911 con TETRA	81
XII	Asignación de frecuencias sistema TETRA	83
XIII	Indicadores estaciones base A y B sistema P25	85
XIV	Datos de celdas sistema P25	86
XV	Canales del sistema 911 con Project 25	88
XVI	Asignación de frecuencias sistema P25	89
XVII	Parámetros de corrección de diseño	91
XVIII	Distribución de tráfico sistema TETRA	99
XIX	Distribución de tráfico sistema P25	102
XX	División de frecuencias	104
XXI	Tabulación de datos erlang C	107

## GLOSARIO

<b>Bit</b>	Unidad fundamental de información que representa igualmente un uno o un cero lógico.
<b>Bit Error Rate</b>	Terminología usada en telecomunicaciones para designar un porcentaje permisible de errores en la transferencia de datos. Conocida comúnmente por sus siglas BER.
<b>Canal de radio</b>	Medio inalámbrico por el que fluye la comunicación entre dos o más usuarios, usando ondas emitidas por equipo electrónico especial. Se refiere a un par de frecuencias radioeléctricas discretas, una para transmisión y otra para recepción.
<b>Codificador</b>	Circuito electrónico que convierte datos o señales en una forma deseada o código para una transmisión adecuada. También se refiere al circuito electrónico que tiene como función convertir señales analógicas como la voz, en una secuencia de bits.
<b>Decodificador</b>	Circuito electrónico que extrae la información en un código o secuencia de bits y la presenta en su forma original.
<b>Emplazamientos</b>	Terminología en sistema de telefonía celular para indicar el lugar de ubicación de estaciones base.

<b>Encriptación</b>	Proceso al que se somete un flujo de información desordenando su significado, con el fin de hacerla llegar a destinos autorizados.
<b>Espectro radioeléctrico</b>	Indica la asignación continua de frecuencias disponibles para la radiocomunicación.
<b>Información digitalizada</b>	Es una secuencia de bits que representan voz o datos.
<b>Portadora</b>	Señal de radio que lleva información dentro de su forma, generalmente se utiliza para enviar voz o datos a grandes distancias.
<b>Receptor</b>	Referido a la sección de captura de señales de radio de las estaciones móviles, estaciones base y repetidoras.
<b>Sistema de banda angosta</b>	Definido como la tecnología que usa un ancho de banda de 25 Khz o menos.
<b>Subsistema de radio</b>	Indica la conexión vía radio de equipo móvil a una estación base particular.
<b>Terminales</b>	Forma alterna para referirse a radios portátiles y móviles.
<b>Tráfico</b>	Indica la ocupación del canal de radio por los múltiples usuarios en un período de tiempo de una hora.

<b>Transmisor</b>	Se refiere a la sección que emite señales de radio dentro de estaciones móviles y estaciones fijas.
<b>Ventanas de tiempo</b>	Pequeña división de tiempo que se asigna a un canal de radio con la finalidad de mejorar el uso del espectro radioeléctrico.



## RESUMEN

El sistema de telecomunicaciones de toda institución de seguridad pública, juega un papel primordial en la realización de sus tareas cotidianas, por ello, es importante tener un correcto y efectivo diseño de la red de radiocomunicación; en este trabajo se efectuó el diseño de la red, con la finalidad de lograr satisfacer la cobertura de la ciudad de Guatemala, tomando en consideración que generalmente los canales de radio son limitados; aspecto que proyecta al cubrimiento celular como una opción correcta de planificación.

Se pudo establecer las ventajas de cambiar de un sistema de telecomunicaciones analógico a uno digital troncalizado, y el tener un solo sistema de radio que respalde la unificación de los servicios de seguridad y atención de emergencias.

Se analizó la manera de mantener controlada la administración del recurso radioeléctrico, humano y material disponible; valiéndose de la evaluación de la tecnología digital reciente que satisfaga las necesidades de comunicación en grupo cerrado de usuarios; interoperando entre ellos, además de servicios de telecomunicaciones inalámbricos que la complementen, pero sobre todo que permita un servicio eficiente y garantizado, dando a la información que se transmite vía radio una encriptación altamente segura, protegiendo la red de escuchas no autorizadas; habilitando a la policía y cuerpos de bomberos responder de forma ágil ante cualquier eventualidad.



## OBJETIVOS

- **General**

Diseñar un sistema de radiocomunicaciones eficiente para los servicios de seguridad pública en la ciudad de Guatemala, valiéndose de estándares internacionales de radiocomunicación digital troncalizado.

- **Específicos**

1. Delimitar la ciudad de Guatemala y sus servicios públicos de seguridad.
2. Estudiar el sistema de emergencia 911 y las tecnologías de radiocomunicación digital troncalizado.
3. Estudiar los estándares de radiocomunicación digital TETRA y APCO Project 25, así como la comparación entre ambos, proyectando sus generalidades.
4. Diseñar un sistema 911 con el estándar TETRA y otro con el estándar APCO Project 25, resaltando las cualidades individuales de cada diseño que se ajusten a lo necesitado en la ciudad de Guatemala.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, Guatemala no cuenta aún con un sistema 911, aunque varios países ya han adoptado su uso, debido a que es un método de acceso fácil desde el punto de vista del que solicita ayuda, además se mejora el tiempo de respuesta a la emergencia; donde se marca la diferencia entre la vida y la muerte de una persona.

Actualmente, existen mecanismos para aplicar exitosamente los servicios que se generan a raíz de las nuevas tecnologías digitales, con ellos es posible la construcción de dispositivos que puedan transmitir y recibir señales de video e imágenes, lo que significa que en caso de emergencia como en un incendio, los bomberos puedan entrar al lugar del siniestro con una pequeña cámara y enviar imágenes al equipo de soporte, así también los oficiales de policía pueden enviar fotografías de personas sospechosas hacia una base de datos para obtener información de ellas inmediatamente, ventajas que se tiene sobre sistemas convencionales.

El objetivo del estudio, es diseñar una red de telecomunicaciones del sistema 911, para la ciudad de Guatemala, considerando las ventajas tecnológicas que ofrecen las redes digitales troncalizadas con base en la utilización de los estándares de radiocomunicación TETRA y APCO Project 25; enfocados principalmente para la seguridad pública. Para este diseño se pretende cumplir con los requerimientos básicos: determinación del área de cobertura, análisis de tráfico, cálculo de emplazamientos y cálculo de canales de radio, además de determinar la forma de explotación del sistema.



# **1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA A CUBRIR Y SERVICIOS PÚBLICOS DE SEGURIDAD**

## **1.1. Seguridad pública en Guatemala**

El Estado tiene la obligación de prevenir, perseguir y sancionar el delito, dentro del entorno del respeto de los derechos humanos, teniendo como objetivo proteger a toda persona y a toda familia; asegurando la convivencia armónica y su integridad, pero es un tema que no se enfoca exclusivamente a la protección interna contra amenazas al orden público, ni a la protección externa de amenazas armadas contra el país, incluye tanto a entidades estatales como a organizaciones sociales; para llevar a cabo la tarea de protección y servicio de atención en una región.

La seguridad pública incluye la creación de programas y administración de mecanismos diseñados para llevar a cabo la protección y asistencia personal a la ciudadanía. Dichos programas y mecanismos encierran temas de auxilio, salud pública, protección a la integridad del individuo junto con sus bienes, y atención en casos de emergencia y calamidad.

### **1.1.1. Tipos y métodos de servicios de seguridad pública**

Cada entidad que presta servicios de seguridad pública cuenta con una manera individual de utilización de recursos; sin embargo, todas tienen la finalidad de servir a la ciudadanía.

Dentro de los tipos de servicios que se ofrecen en Guatemala se pueden mencionar:

- Prevenir y combatir incendios.
- Auxiliar a las personas y sus bienes en casos de incendios, accidentes, desastres, calamidades públicas y otros similares.
- Emergencias médicas.
- Servicio de ambulancia y rescate vehicular.
- Metodologías para el manejo y reducción de desastres.
- Adiestramientos en materia de primeros auxilios, temas de salud, protección del medio ambiente y programas de desarrollo humano.
- Prevenir, investigar y combatir el delito; manteniendo el orden y el bien común.
- Velar por el libre ejercicio de libertades y derechos.

Los principales métodos utilizados para servir a la ciudadanía después que cada una de las entidades al servicio recibe una llamada telefónica son:

**Prevención y combate de incendios.** La mejor manera de prevenir, es dar charlas informativas y fomentar campañas de este tipo a nivel nacional. Para el combate al incendio se envía inmediatamente al personal que porta equipo especial para acercarse al fuego; acompañados de la unidad contra incendios y el camión cisterna.

**Auxilio a personas en casos de accidentes, desastres, calamidades públicas y similares.** Se proporciona el personal entrenado en rescates y atención pre-hospitalaria, enviando las unidades de respuesta necesarias lo más pronto posible al lugar indicado; como pueden encontrarse con situaciones de gravedad se porta diverso equipo como: desfibrilador; el cual sirve para establecer el ritmo cardíaco a lo normal mediante descargas eléctricas, y otro equipo necesario de canalización; utilizado para proporcionar oxígeno al paciente cuando este no pueda respirar por sí mismo, además con el personal entrenado se brinda atención a hemorragias, inmovilización de fracturas, golpes y contusiones, rescate y salvamento de personas que se encuentren en situaciones de peligro como: desastres naturales o desastres provocados.

**Suministro de agua y transporte donde se requiera.** El suministro de agua no requiere enviar personal entrenado donde falte el vital líquido, pero sí requiere que el camión cisterna este disponible al momento de solicitarlo, de igual manera el préstamo de servicio de transporte en casos de urgencia.

**Emergencias médicas.** Atendidas específicamente en centros hospitalarios, con el personal y equipo médico especializado.

**Servicio de ambulancia y rescate vehicular.** La unidad de ambulancia es enviada al sitio solicitado cuando las personas necesiten ser trasladadas a un centro hospitalario, ya sea en caso de accidente, enfermedad súbita o maternidad.

**Manejo y reducción de desastres.** El método más común para prevenir cualquier situación indeseable es la impulsión de campañas preventivas a todas las regiones en peligro potencial, brindando información precisa, exacta y muy confiable; para la creación y coordinación de planes afines para reducir desastres provocados por el hombre, y para aplicar mecanismos y planes de emergencia en casos de desastres provocados por fenómenos naturales.

**Adiestramientos diversos.** A través del departamento de ingeniería de entidades a las cuales les compete el adiestramiento, tales como evaluación de riesgos, capacitación en materia de seguridad y desarrollo humano; que consiste en mejorar la calidad de vida, poniendo en práctica sistemas de cuidado primario en salud, capacitación en primeros auxilios, investigación de origen y causas de incendios y explosiones; administración de programas de educación y prevención a niños de todas las edades, capacitación en el uso del equipo de comunicación, estructuración de diagnóstico en higiene y seguridad industrial, protección al medio ambiente, además asesorías en materia de diseño e instalación de equipo y estructuras de protección contra incendios

**Investigar y combatir el delito.** La investigación se lleva a cabo por las aportaciones de pruebas en casos de los delitos criminales, con el fin de colaborar eficazmente en la administración de justicia; llegando al lugar del hecho con equipo y personal especializado en el combate a la delincuencia, se crean y ejecutan planes de seguridad pública, como el control de armas, que en la mayoría de los casos son obtenidas de forma ilegal; problema que incide directamente con el aumento en la violencia. En el combate al narcotráfico, control fiscal, protección del medio ambiente y el patrimonio cultural, se maneja información altamente confidencial para reprimir las acciones que se consideren nocivas a la población en general.

**Velar por el libre ejercicio de libertades y derechos.** Tiene contemplado el apoyo a la población indígena que aspira a la participación en todos los sectores de la sociedad, pero que tiene como limitante el manejo del idioma español; sin embargo, tiene los derechos como los demás ciudadanos. Se desarrollan procedimientos en los cuales se respeten los derechos y libertades de las personas al acceso a la seguridad pública.

### **1.1.2. Organizaciones encargadas de prestar servicios públicos de seguridad en Guatemala**

**CONRED.** Sus siglas indican Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, como es una coordinadora; su trabajo consiste en agrupar a todas las entidades que la conforman, brindándoles información confiable y oportuna; con la finalidad de crear mecanismos de comunicación eficiente y establecer un método adecuado para la reducción de desastres, su trabajo está antes, durante y después de la aparición de un desastre. La cobertura de ayuda es en toda la región nacional a través de coordinadoras regionales, departamentales, municipales y locales; informando a la población, autoridades y medios de comunicación sobre las medidas a tomar<sup>1</sup>.

---

1

WebSite CONRED, <http://www.conred.org>: septiembre 2005.

**Cruz roja guatemalteca.** Es una entidad que presta ayuda a las autoridades públicas, pero conserva su independencia; ayudando a toda aquella población que no tiene acceso a servicios de salud.

La meta de la cruz roja es la asistencia a los más vulnerables, la recuperación financiera, el desarrollo de recursos humanos y una cobertura nacional. La cruz roja continúa siendo parte en el programa regional de educación comunitaria para la preparación en temas de desastres, de salud y protección del medio ambiente, dando adiestramiento a las comunidades<sup>2</sup>.

**Organización panamericana de la salud.** Es un organismo internacional de cooperación técnica en salud pública y científica, mediante publicaciones y una red de bibliotecas académicas de atención a salud colabora con gobiernos, organismos y grupos privados para abordar los principales problemas nutricionales, integrada por los países del continente americano; toda su experiencia ha sido dedicada a mejorar las condiciones de vida de los pueblos de la región<sup>3</sup>.

---

2

WebSite de información de seguridad pública, <http://www.desastres.usac.edu.gt/informacion/sitios.php>: septiembre 2005.

3

Loc. Cit.

**Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS).** Su misión es aplicar a total beneficio de la ciudadanía, un régimen nacional unitario y obligatorio de seguridad social; de conformidad con el sistema de protección mínima. La razón principal de existencia de esta institución es ofrecer servicio de salud y previsión de manera efectiva y moderna, que ayuden al bienestar físico y mental del trabajador<sup>4</sup>.

**Dependencias hospitalarias estatales.** Se enfoca principalmente en todos los centros de salud ubicados en diferentes puntos de la ciudad de Guatemala, así como los dos principales hospitales nacionales capitalinos: el hospital San Juan de Dios y el hospital Roosevelt. Estos centros fueron fundados con el fin de ofrecer servicios de salud sin costo alguno, como parte de la obligación del Estado hacia la población.

**Policía Nacional Civil.** Es la institución estatal encargada de proteger la vida, la integridad física, la seguridad de las personas y sus bienes; de velar por el libre ejercicio de los derechos y libertades, así como de prevenir, investigar y combatir el delito; preservando el orden y la seguridad pública. Su misión es a raíz de los acuerdos de paz en el país y de la demanda de seguridad en la sociedad<sup>5</sup>.

---

4

WebSite de información de seguridad pública, <http://www.desastres.usac.edu.gt/informacion/sitios.php>: septiembre 2005.

5

WebSite Policía Nacional Civil, <http://www.pnc.gob.gt>: octubre 2005.

**Ejército de Guatemala.** Su misión es la defensa de la soberanía del país y de la integridad de su territorio, no tendrá asignada otras funciones y su participación en otros campos se limitará a tareas de cooperación, y en efecto fue avalado su extensivo apoyo a la Policía Nacional Civil en tareas de seguridad pública.

**Cuerpo de bomberos municipales.** Es una institución de servicio público, tiene la misión de salvaguardar la vida, la propiedad y el ambiente; usando todas las técnicas y herramientas a su alcance, se dedica a atender todo tipo de emergencias causadas por fenómenos naturales o por la actividad humana. En los años cincuenta, donde comienza su actividad, se ha capacitado a efecto de brindar un trabajo profesional, ajustándose a las necesidades de la población; su área de responsabilidad es amplia y diversa, debido a la carencia que existe en el país de instituciones para la atención de emergencias específicas.

En su fundación, la entidad fue implementada entre los servicios públicos que presta la municipalidad de Guatemala, en el que la población de una manera gratuita pudiera contar con el apoyo para proteger sus bienes y sus vidas; al momento de surgir algún incendio o emergencia de gran magnitud<sup>6</sup>.

---

6

WebSite Bomberos municipales, <http://www.cbm123.com/> : agosto 2005.

**Cuerpo de bomberos voluntarios.** Esta organización presta servicio a la seguridad de las personas y sus bienes, previendo y controlando incendios, además proporcionando auxilios de toda naturaleza en casos de emergencias y calamidades; colabora con el Estado para el bien público. Los bomberos asesoran en materia de seguridad y en coordinación con otras dependencias que puedan atender emergencias en la comunidad donde están ubicados. Al igual que los bomberos municipales, cuenta con un departamento de ingeniería que es responsable de promover, controlar y verificar en diversos ámbitos la seguridad, mediante la prevención, charlas escolares, hasta la verificación de los sistemas fijos contra incendios en edificios; investigan el origen y causa de los incendios y otros incidentes producto de emergencias naturales y/o provocadas humanamente, para adoptar medidas preventivas y correctivas. Básicamente su servicio se encierra en tres categorías: incendio, rescate y ambulancia<sup>7</sup>.

---

7

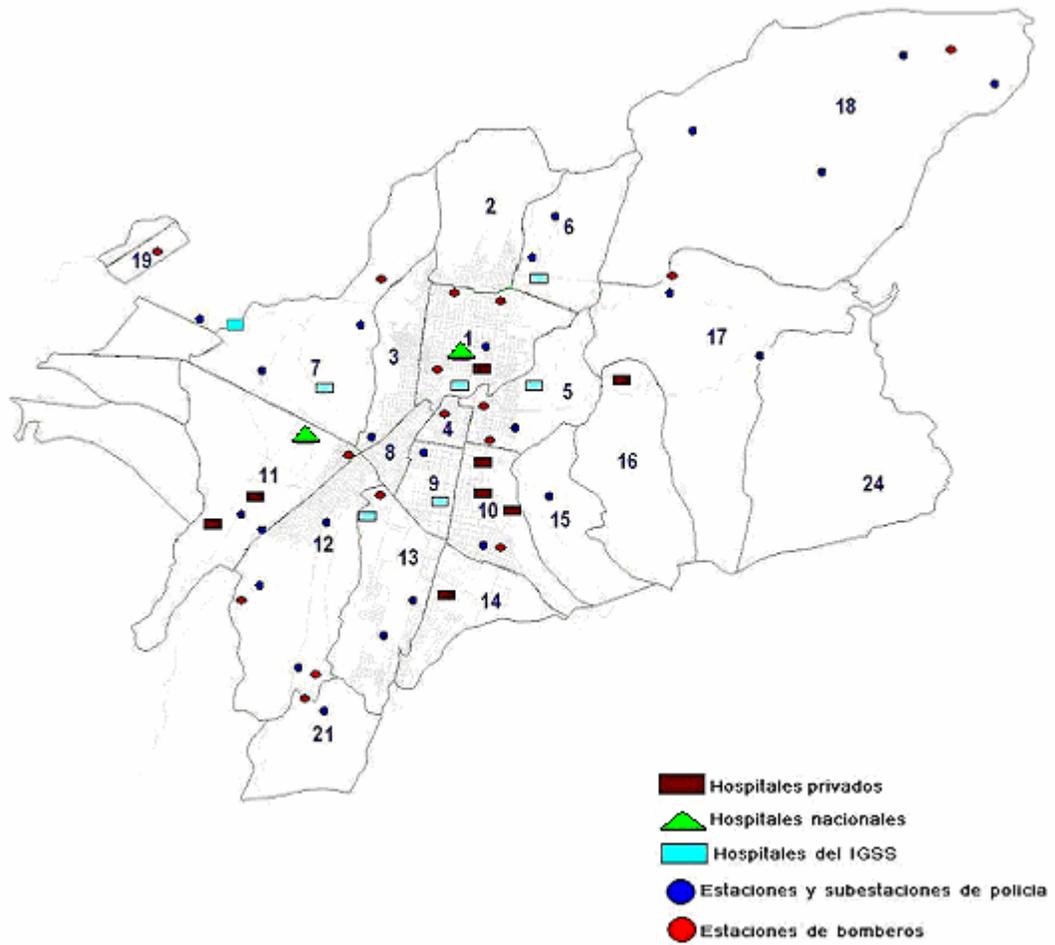
WebSite Bomberos voluntarios, <http://www.manfredysois.com/bv/>: mayo 2005.

## **1.2. Límites de ciudad de Guatemala**

Se localiza en un mapa de la ciudad de Guatemala las estaciones de policía, estaciones de bomberos, hospitales nacionales, principales hospitales privados, hospitales del seguro social, y se muestra en la figura 1.

Según la municipalidad del municipio de Guatemala, las zonas que conforman la ciudad son: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,14, 15, 16, 17, 18, 19, 21 y 24, siendo el límite de ellas: el Km. 19.3 carretera al Atlántico en zona 18, 39 avenida sobre la calzada Roosevelt y 39 avenida sobre la calzada San Juan en la zona 7, Km. 12.5 sobre carretera hacia el Salvador zona 15, Km. 6 carretera antigua a Chinautla zona 6, entre zonas 11 y 12 sobre la calzada Aguilar Batres en la 37 calle, y el puente sobre río Pinula en la zona 21 hacia Villa Canales. La ciudad tiene un área de 184 kilómetros cuadrados.

**Figura 1.** Mapa de la ciudad de Guatemala



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

### **1.2.1. Preselección de poblaciones**

El criterio utilizado para el estudio de poblaciones con mayor requerimiento de seguridad en la ciudad de Guatemala, será el sondeo de estadísticas en materia de emergencias atendidas, hechos delictivos y áreas consideradas como rojas en términos de inseguridad. La fuente de información estadística la proporcionan los cuerpos de bomberos, cuerpos de policía, el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE) y documentos emitidos por organizaciones que se dedican a estudios sociales, y que están para consulta de la población.

En el municipio de Guatemala o como se conoce regularmente ciudad de Guatemala, están concentradas las principales actividades económicas y sociales; es por ello que la proyección de los servicios básicos que se prestan, entre ellos el de la seguridad ciudadana sea bastante relevante.

Según los Censos nacionales XI de población y VI de habitación realizados el año 2002<sup>8</sup>, la población que reside en el territorio nacional es de 11, 237,196 habitantes, como lo muestra la tabla I.

---

8

WebSite INE, <http://www.ine.gob.gt>: septiembre 2005.

**Tabla I.** Censo de población y habitación año 2002

Número de censo		Año	Población censada	Viviendas censadas
Población	Habitación			
I		1778	396,149	
II		1880	1,224,602	
III		1893	1,364,678	
IV		1921	2,004,900	
V		1940	2,400,000	
VI	I	1950	2,790,868	158,452
VII	II	1964	4,287,997	801,335
VIII	III	1973	5,160,221	1,013,817
IX	IV	1981	6,054,227	1,256,156
X	V	1994	8,331,874	1,805,732
XI	VI	2002	11,237,196	2,578,265

Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE). **Censo 2002**. Pág. 13.

El departamento de Guatemala alberga el 22.6% de población total, según datos proporcionados por la INE a través del Censo de Población de 2002, siguiendo otros tres departamentos con mayor población: Huehuetenango, San Marcos y Alta Verapaz. La tabla II, muestra los datos.

**Tabla II.** Censo de población por departamento

<i>Departamento</i>	<i>Censo 2002</i>
Guatemala	<b>2,541,581</b>
El Progreso	139,490
Sacatepéquez	248,019
Chimaltenago	446,133
Escuintla	538,746
Santa Rosa	301,370
Sólola	307,661
Totonicapán	339,254
Quetzaltenango	624,716
Suchitepéquez	403,945
Retalhuleu	241,411
San Marcos	<b>794,951</b>
Huehuetenango	<b>846,544</b>
Quiché	655,510
Baja Verapaz	215,915
Alta Verapaz	776,246
Petén	366,735
Izabal	314,306
Zacapa	200,167
Chiquimula	302,485
Jalapa	242,926
Jutiapa	389,085
Total	11,237,196

Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE). **Censo 2002**. Pág. 14.

Conocer la densidad de población en los departamentos ayuda a reconocer la cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado ocupado por cada región, encontrando que el departamento de Guatemala tiene la mayor densidad de población. La tabla III, muestra las densidades poblacionales por departamento.

**Tabla III.** Densidad poblacional por departamento

<b>Densidad de población por Departamento Censo 2002</b>	
<b>Departamento</b>	<b>Habitantes por Kilometro cuadrado</b>
Guatemala	<b>1,196</b>
Sacatépequez	533
Quetzaltenango	320
Totonicapán	320
Solóla	290
Chimaltenango	225
San Marcos	210
Suchitepéquez	160
Retalhuleu	130
Chiquimula	127
Escuintla	123
Jutiapa	121
Jalapa	118
Huehuetenango	114
Santa Rosa	102
Alta Verapaz	89
Quiche	78
Zacapa	74
El Progreso	73
Baja Verapaz	69
Izabal	35
Petén	10

Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE). **Censo 2002**. Pág. 15.

Con los datos de la tabla IV, se enfoca la observación de densidad poblacional en los 17 municipios que conforman el departamento de Guatemala.

La importancia de este dato radica, en que a mayor población en una región; los mecanismos y programas de gestión de seguridad y atención en casos de emergencia se vuelven más significativos en materia de eficiencia, ya que generalmente se contempla un aumento en las emergencias conforme crece la densidad demográfica.

**Tabla IV.** Densidad poblacional por municipio del departamento de Guatemala

No.	MUNICIPIO	POBLACIÓN	SUPERFICIE (Kms. <sup>2</sup> )	DENSIDAD DE POBLACIÓN (Población /Kms. <sup>2</sup> )
	TOTAL DEPARTAMENTO	2,541,581	2,126	1,195
1	Guatemala	942,348	184	5,121
2	Santa Catarina Pinula	63,767	51	1,250
3	San José Pinula	47,278	220	215
4	San José del Golfo	5,156	84	61
5	Palencia	47,705	196	243
6	Chinautla	95,312	80	1,191
7	San Pedro Ayampuc	44,996	73	616
8	Mixco	403,689	132	3,058
9	San Pedro Sacatepéquez	31,503	48	656
10	San Juan Sacatepéquez	152,583	242	631
11	San Raimundo	22,815	114	198
12	Chuarrancho	10,101	98	103
13	Fraijanes	30,701	96	320
14	Amatitlan	82,870	204	406
15	Villa Nueva	355,901	114	3,122
16	Villa Canales	103,814	160	649
17	Petapa	101,242	30	3,375

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. **Censo 2002 departamento de Guatemala.** Pág. 1.

En atención de accidentes de tránsito en la ciudad de Guatemala, no fue posible acceder a la información de la zona exacta de ocurrencia, la tabla V muestra estadísticas a nivel ciudad; aunque es un hecho que los accidentes de tránsito pueden ocurrir en cualquier tiempo y en cualquier lugar, haciendo igualmente probable todo punto de la ciudad de Guatemala.

**Tabla V.** Accidentes de tránsito años 2002 y 2003

MES	AÑO	
	2002	2003
<b>TOTAL</b>	<b>3,696</b>	<b>4,098</b>
Enero	248	344
Febrero	254	336
Marzo	213	339
Abril	266	361
Mayo	300	326
Junio	247	330
Julio	313	269
Agosto	371	335
Septiembre	393	340
Octubre	360	334
Noviembre	321	367
Diciembre	310	398

Fuente: INE. **Accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad capital años 2002 y 2003.** Pág. 1.

Según el cuerpo de bomberos voluntarios en el año 2004 los accidentes de tránsito colectivos atendidos fueron únicamente tres; protagonizados por buses del servicio urbano.

Las estadísticas de acciones efectuadas por la Policía Nacional Civil (PNC) en el año 1999 en materia de denuncias de violencia intrafamiliar, y en el año 2003 en otras actividades combatiendo el delito, mostradas en la tabla VI, informan en qué regiones capitalinas se ha requerido más su vigilancia.

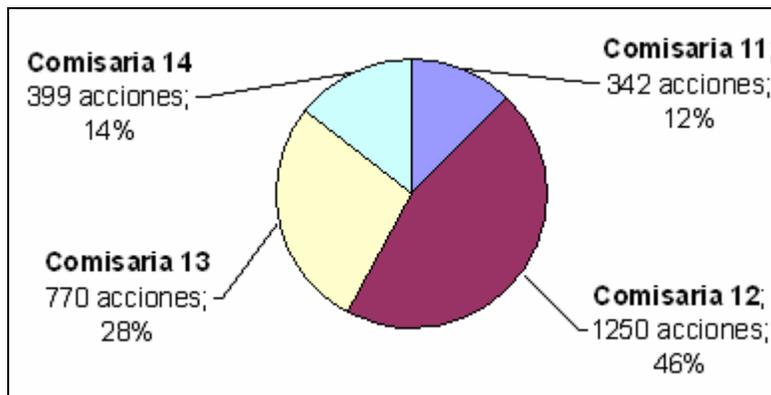
**Tabla VI.** Acciones efectuadas por policía capitalina

<i>Acción efectuada</i>	<i>Número de Comisaria</i>			
	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
Armas incautadas ( 2003 )	52	68	29	72
Vehiculos recuperados ( 2003 )	150	78	70	169
Motos recuperadas ( 2003 )	7	7	6	10
Personas detenidas ( 2003 )		886	551	
Denuncias de violencia intrafamiliar (1999)	133	211	114	148
<b>Total</b>	342	1250	770	399

Fuente: Policía Nacional Civil. **Informe de hechos positivos ocurridos en los departamentos de Guatemala en el año 2003.** Pág. 1.

En la figura 2 se observa de una mejor manera los datos estadísticos de la tabla VI.

**Figura 2.** Acciones en comisarías capitalinas



Existen hechos delictivos no denunciados a las autoridades, de los cuales no logró obtenerse estadísticas concretas.

Las comisarías 11, 12, 13 y 14 de la PNC cubren el área capitalina y algunos municipios<sup>9</sup>.

**Comisaría 11:** cubre las zonas 1, 3, 4, 8 y 9.

**Comisaría 12:** cubre las zonas 2, 6, 17 y 18, además municipios de Palencia, San José del Golfo, San Pedro Ayampuc y Chinautla.

**Comisaría 13:** cubre las zonas 5, 10, 13, 14, 15, 16 y los municipios de San José Pinula, Santa Catarina Pinula y Fraijanes.

**Comisaría 14:** cubre las zonas 7, 11, 12 y 21.

En la tabla VII, se muestra información poblacional de zonas capitalinas, que según la Policía Nacional Civil son consideradas como peligrosas.

**Tabla VII.** Población de zonas peligrosas año 2005

Zona	Habitantes
6	76,580
7	139,269
12	43,398
18	43,416
21	18,674

Fuente: Policía Nacional Civil. **Informe de planes de combate a la delincuencia.** Pág. 1.

---

<sup>9</sup>

WebSite Policía Nacional Civil, <http://www.pnc.gob.gt>: octubre 2005.

Enfocando principalmente al municipio de Guatemala, se muestran en la tabla VIII algunas características por zonas que lo integran; proyectando la actividad industrial y comercial realizada en ellas, incluyendo la existencia de pandillas en todas las zonas de la capital. Estos datos corresponden al año 2000.

**Tabla VIII.** Características de zonas capitalinas

Zona	Concentración de la Población	Nivel Social	Concentración de Actividades Industriales	Concentración de Actividades Comerciales	Concentración de Pandillas
1	Mediana	Medio y Bajo	Alta	Alta	Alta
2	Baja	Alto	Mediana	Baja	Baja
3	Baja	Medio y Bajo	Mediana	Baja	Mediana
4	Baja	Medio	Mediana	Mediana	Mediana
5	Mediana	Medio y Bajo	Mediana	Mediana	Mediana
6	Alta	Medio y Bajo	Baja	Baja	Alta
7	Alta	Alto, Medio y Bajo	Alta	Mediana	Mediana
8	Baja	Medio	Mediana	Baja	Baja
9	Baja	Alto y Bajo	Baja	Alta	Baja
10	Baja	Alto	Mediana	Alta	Baja
11	Mediana	Alto y Medio	Alta	Alta	Mediana
12	Alta	Alto y Medio	Alta	Alta	Alta
13	Baja	Alto, Medio y Bajo	Baja	Mediana	Baja
14	Baja	Alto	Baja	Baja	Baja
15	Baja	Alto	Baja	Baja	Baja
16	Baja	Alto	Baja	Baja	Baja
17	Baja	Medio y Bajo	Baja	Baja	Baja
18	Alta	Alto y Bajo	Mediana	Baja	Alta
19	Mediana	Medio	Baja	Baja	Alta
21	Alta	Medio y Bajo	Baja	Baja	Mediana

Fuente: Centro de Investigaciones Económicas Nacionales (CIEN). **Diagnóstico económico de la ciudad de Guatemala.** Pág. 5

Basándose en las estadísticas poblacionales, el municipio de Guatemala es en el que mayor número de personas reside, atribuyendo el mayor movimiento de seguridad pública a esta región. Según la Policía Nacional Civil otras regiones peligrosas son las zonas 5 y 19; sin dejar por un lado que existen zonas donde no hay pandillas ni tienen un índice delincencial considerable, sin embargo, son objeto de saqueo a las residencias y otras fechorías.

### **1.3. Límites de cobertura de los servicios públicos de seguridad**

Después de realizar una llamada a un simple número telefónico, la ciudadanía tendrá acceso a los servicios de seguridad pública que estarán cubriendo toda la región de la ciudad de Guatemala; donde le brindarán los servicios de atención de emergencias en caso de incendio, accidente de cualquier índole, servicio de ambulancia, rescate vehicular y otros servicios similares que prestan los cuerpos de bomberos. Además recibirá ayuda y orientación en caso de necesitar protección de su vida y sus bienes, servicio que prestan las entidades de policía. Preliminarmente el servicio público de seguridad quedará limitado a la policía y cuerpos de bomberos.



## **2. SISTEMAS DE RADIO MÓVIL Y SISTEMA DE EMERGENCIA 911**

### **2.1. Sistemas móviles de radiocomunicación**

Una red de comunicaciones es un conjunto de equipo y medios para la transferencia de información entre usuarios localizados en varios puntos geográficos. La red debe tener la capacidad de proveer conectividad en el sentido que mantenga el flujo de información entre la fuente y el destino.

#### **2.1.1. Antecedentes históricos**

En el año 1819, Hans Oersted observó que cuando se hacía circular una corriente eléctrica por un hilo, se desviaba una aguja imantada; de este modo logró demostrar como la electricidad producía magnetismo. En 1820 Andre Ampere amplió las observaciones de Oersted. En 1831 se observó el efecto contrario, es decir que con un campo magnético variable o en movimiento se producía electricidad sobre un hilo conductor cercano, el hecho fue aportado por Michael Faraday. Posteriormente se dieron varios descubrimientos e implementaciones de comunicaciones inalámbricas con tecnología de radio:

- La postulación de las ondas electromagnéticas por James Maxwell durante el año 1860 en Inglaterra.

- En 1876 Alexander Graham Bell desarrollo un sistema que pudo transmitir una señal de voz, estableciendo el inicio de la comunicación de voz, conocido como teléfono.
- La validez por Heinrich Rudolf Hertz en el año 1880 en Inglaterra de la postulación hecha por Maxwell de las ondas electromagnéticas.
- Estudio de fundamentos naturales de las ondas electromagnéticas realizado por Jagdish Chandra Bose, Oliver Lodge y Augusto Righi, en el año 1890.
- La invención del telégrafo inalámbrico por Guglielmo Marconi en 1890.
- Primera transmisión de voz y música vía enlace inalámbrico por Reginald Fessenden en el año 1905.
- Se destaca la importancia de las comunicaciones inalámbricas sobre vías marítimas, comenzando con radios de telegrafía, año 1912.
- Dirección de maniobras militares por parte del departamento de policía de Detroit usando radios móviles, ocurrido en el año 1921.
- El desarrollo de un transmisor móvil en 1933, que permitió el primer sistema de dos vías usado por la policía en Bayonne, New Jersey.
- Inicio del comercio de sistemas de teléfonos móviles operados por el sistema Bell de Estados Unidos, en 1946.
- Se desarrollan los enlaces de microondas y teléfonos en 1950.
- Expansión a muchas ciudades de los teléfonos móviles en 1970.
- Implementación de sistemas celulares analógicos por el mundo, acontecido en 1980.
- Inicio de la comunicación celular en 1980.
- Expansión de sistemas celulares digitales y el modo dual de operación de sistemas digitales desde los años 1990 a la fecha.

### 2.1.2. Elementos de un sistema de comunicación móvil

Los elementos principales se agrupan en tres categorías: estaciones móviles, estaciones fijas y elementos de control.

#### Estaciones móviles

- **Radios portátiles:** son radios pequeños y tan livianos que pueden portarse en la mano, son unidades inalámbricas que contienen un transmisor y un receptor dentro de ellas; por ello se les conoce como transreceptores portátiles, además tienen internamente una pequeña bocina, un micrófono, una antena, y una batería recargable como fuente de alimentación; generalmente son transreceptores con salidas de potencia de 0.1 a 5 vatios.
- **Radios móviles:** son más grandes que los radios portátiles y son diseñados para estar montados dentro de un vehículo (patrullas, camiones cisterna, ambulancias, etc.). Al igual que los radios portátiles contienen un transmisor y un receptor, su fuente de alimentación es proporcionada por la batería del vehículo; la cual le permite tener una potencia de salida del transmisor de 5 a 50 vatios a través de una antena externa, el micrófono y la bocina pueden estar localizados fuera del dispositivo. El sistema de recepción de estos radios es más sensible que los radios portátiles debido a que el espacio físico no es tan restrictivo como aquellos.

## Estaciones fijas

- **Estación base:** muchas veces es el corazón de un sistema de radiocomunicación, siendo el componente principal por donde fluye la mayoría de información. En su construcción contiene un transmisor y un receptor, la fuente de alimentación es provista por un sistema eléctrico externo; se conecta a una antena que está localizada a una distancia lejana en comparación con los radios de estaciones móviles, generalmente las antenas se colocan sobre edificios o sobre una torre, este dispositivo tiene una potencia de salida de 5 a cientos de vatios; mayor a la de los radios portátiles y móviles debido a que la alimentación es tomada de sistemas eléctricos externos, y como su tamaño es mayor que las estaciones móviles tiene un receptor mucho más sensible. El micrófono y la bocina que contiene este transreceptor puede ser interno o externo.
- **Estación repetidora:** la repetidora es un radio especializado, usado para incrementar el área de cobertura efectiva en la comunicación con estaciones móviles y estación base, ya que de otra manera no podrían comunicarse entre sí. Contiene un receptor que es sintonizado con la frecuencia de señales entrantes provenientes de los transmisores de estaciones móviles o estaciones base; el transmisor de una repetidora se sintoniza con la misma frecuencia usada en los receptores de estaciones móviles o estaciones base cercana a ella.

La señal entrante en una repetidora se retransmite a la red de radio en una frecuencia diferente, con una potencia mayor y en una localización mejor; ya que la repetidora puede estar sobre la cima de una montaña, edificio o en torres altas.

## Elementos de control

- **Centro de conmutación de móviles:** es el centro de equipo digital que realiza las funciones de gestión de la comunicación entre usuarios de la red de radio, la conmutación se puede dar de dos formas:
  - a. **Conmutación de circuitos:** se establece primero la trayectoria a seguir.
  - b. **Conmutación de paquetes:** funciona a través de ráfagas de información dividida en pequeños paquetes previamente identificados para su destino final.
- **Señalización:** es un proceso que permite la transferencia de información entre móviles y estación base/repetidora por medio de un protocolo estandarizado; controlando así, la comunicación, las bases de datos y funciones de mantenimiento.
- **Localización:** contiene en su base de datos a los usuarios del sistema de radio con la información correspondiente, registra la información de localización de los usuarios cuando se desplazan dentro de las áreas de cobertura.
- **Identificación:** es una base datos que almacena la identidad de los móviles y comprueba que sean los autorizados para mantener comunicación en el sistema de radio.

- **Conexión entre sistemas:** elementos que realizan interconexión con la red de telefonía pública (PSTN siglas en inglés de *Public Switch Telephone Network*), la red de servicios digitales integrados (ISDN siglas en inglés de *Integrated Service Digital Network*), redes de mensajería, redes de datos, etc.

### 2.1.3. Tipos de servicios móviles

Existen diferentes servicios de radiocomunicación móvil: servicio móvil marítimo, aeronáutico, satelital y servicio móvil terrestre, este trabajo se enfocará en este último.

La necesidad básica para un sistema móvil de radio terrestre (LMR siglas en inglés de *Land Mobil Radio*) es que permita la comunicación independiente de dos vías entre usuarios. Existen dos clasificaciones principales de LMR: sistemas de radiocomunicación pública y sistemas de radiocomunicación privada (véase sección 2.2).

#### **Sistemas de radiocomunicación pública**

Son sistemas conectados a la red telefónica pública para obtener una cobertura que va desde una zona hasta un continente, algunos de sus servicios: sistemas telefónicos celulares, radiomensajería, sistemas de comunicaciones personales (PCS siglas de *Personal Communication Services*) e Internet móvil.

## 2.2. Sistemas de radiocomunicación privada

Tradicionalmente los sistemas de radio privada (PMR siglas en inglés de *Private Mobil Radio*) son utilizados por organizaciones que tengan la necesidad de una comunicación instantánea, tales como: servicio de taxis, supermercados, compañías industriales, empresas privadas de seguridad, hospitales, departamentos de policía y bomberos, ambulancias<sup>10</sup>. Los sistemas PMR operan en dos modos:

- **Modo interconectado:** enlaza las unidades móviles con la red telefónica de conmutado público (PSTN), un usuario transmite un mensaje vía radio a la estación base, la llamada es enrutada a la red de marcado; habilitando a la unidad móvil de radio funcionar como un teléfono móvil.
- **Modo despacho:** permite la comunicación de voz en dos vías sobre el aire, entre dos o más unidades móviles o bien entre unidades móviles y unidades fijas.

### 2.2.1. Técnicas de transmisión

En la transmisión de información generalmente se toma en cuenta: el tipo de señal, la técnica de modulación para usar eficazmente el canal y la forma de acceder a él, además del tipo de encriptación que se le aplica.

---

<sup>10</sup>

Ian Glover y Peter Grant. Digital communications. (Inglaterra: Prentice Hall, 1998) p. 579.

### 2.2.1.1. Tipos de señales

La información que llevan las ondas portadoras de radio puede tener dos formatos, según la tecnología utilizada. Los tipos de señales son:

**Analógica:** son señales que tienen la forma tal y como las emite la fuente, puede ser forma irregular o forma definida, ejemplos: señal de audio, voz, electricidad.

**Digital:** mediante un proceso llamado codificación una señal analógica se convierte en una combinación de unos y ceros lógicos, conocidos como bits, generalmente un uno lógico indica un nivel de voltaje continuo, un cero lógico indica otro nivel de voltaje o la ausencia de él. Para recobrar la información en forma analógica de una digital se aplica el proceso inverso llamado decodificación.

### 2.2.1.2. Modulación

La modulación es el proceso mediante el cual una señal de información (llamada moduladora) se multiplica por otra señal de mayor frecuencia (la señal portadora), haciéndole variar proporcionalmente uno o más de sus parámetros; ya sea la amplitud, frecuencia o fase. Existen dos tipos de modulación: analógica y digital.

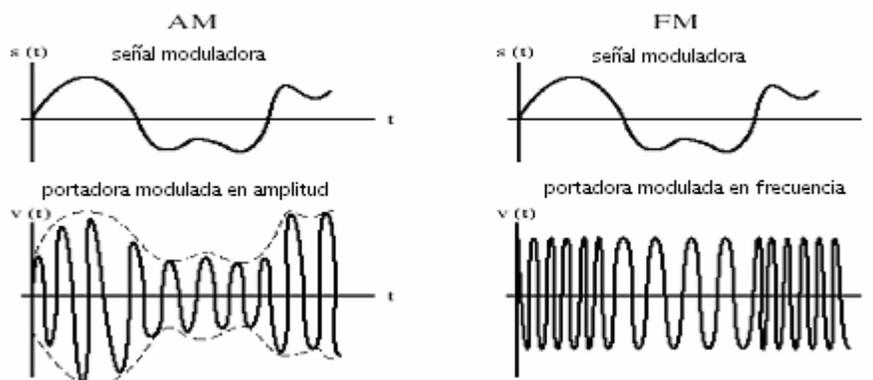
## Modulación analógica

Se pueden enviar señales eléctricas (audio, voz, video) en un radio enlace en dos maneras básicas: amplitud modulada (AM) y frecuencia modulada (FM).

**AM:** la señal eléctrica se acopla a la amplitud de la onda de radio, AM es una onda seno continua cuya amplitud varía conforme lo hace la señal moduladora, la señal recibida o demodulada tendrá cierta cantidad de ruido; debido a ondas interferentes en la frecuencia de la AM.

**FM:** la señal eléctrica se acopla a la frecuencia de la portadora, FM es una onda seno continua cuya frecuencia varía conforme lo hace la señal moduladora. Este tipo de modulación es el que generalmente se usa en las radiocomunicaciones terrestres utilizadas por agencias de seguridad pública, y es mucho menos afectada por la distorsión del ruido. La figura 3 da una mejor idea de los conceptos.

**Figura 3.** Esquemas de modulación AM y FM



Fuente: R. Ziemer y W. Tranter. **Principles of communications**. Páginas 106 y 126.

## Modulación digital

Hay dos modelos: coherente y no coherente. En la modulación coherente, se transmite una señal de referencia o piloto modulada con un patrón conocido y el receptor ajusta sus parámetros internos usando la señal piloto como referencia, para demodular compara la señal piloto y la señal modulada en un tiempo determinado.

La modulación no coherente utiliza solo una señal, el receptor detecta cambios en la señal modulada (amplitud, frecuencia o fase) con el tiempo.

Se describen algunos esquemas de modulación digital, observando de qué manera se aprovecha mejor el canal de radio.

**BPSK (siglas en inglés de *Binary Phase Shift Keying*):** es el esquema de modulación digital más simple, se transmite una sola frecuencia, y a intervalos de tiempo predeterminados se transmite la onda portadora en la misma fase que la señal piloto para un cero lógico o con fase opuesta para un uno lógico, cada uno de esos intervalos de tiempo predeterminados se denomina símbolos<sup>11</sup>.

Existen variaciones de esta modulación para mejorar la ambigüedad del cambio de fase y recuperar la portadora, en detección coherente se usa la codificación binaria de cambio de fase diferencial (DPSK siglas de *Differential Phase Shift Keying*) y BPSK codificado diferencialmente (DEPSK siglas en inglés de *Differential Encoded Phase Shift Keying*).

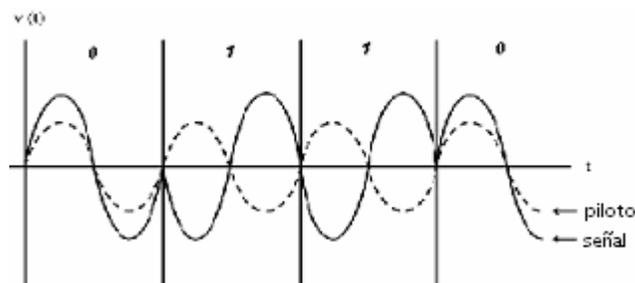
---

<sup>11</sup>

Ian Glover y Peter Grant. Digital communications. (Inglaterra: Prentice Hall, 1998) p. 371.

La figura 4 muestra el esquema modulación de BPSK, observando el cambio de fase en la señal portadora cuando cambia de estado el bit de información.

**Figura 4.** Esquema de modulación BPSK

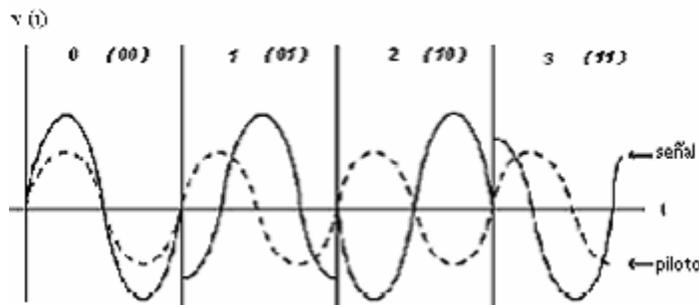


Fuente: Ian Glover y Peter Grant. **Digital communications**. Pág. 371.

**QPSK (siglas de *Quadrature Phase Shift Keying*):** este esquema de modulación digital no es tan simple como BPSK, en ella; se compara la fase de la señal piloto a intervalos de tiempo predeterminados al igual que BPSK. Sin embargo, QPSK permite cuatro relaciones diferentes de fase contra dos permitidas en BPSK.

Los cuatro cambios de fase son: 0, 90, 180 o 270 grados para 1, 2, 3 en notación decimal (en notación binaria es una combinación de dos bits: 00, 01, 11) respectivamente, usando QPSK se envían símbolos de dos bits en lugar de solo uno; haciendo doble uso del ancho de banda, su esquema de modulación se muestra en la figura 5, donde amplía de forma visual el concepto.

**Figura 5.** Esquema de modulación QPSK



Fuente: Ian Glover y Peter Grant. **Digital communications**. Pág. 398.

La constelación es un tipo de gráfica que muestra los esquemas de modulación digital, cada punto de la gráfica representa una relación de amplitud y fase donde la información digital puede ser transmitida.

BPSK tiene dos puntos en su constelación en +1 y -1, la modulación QPSK usa la ventaja de los números complejos: 1,  $j$ , -1,  $-j$ . Hay otras versiones de QPSK, variaciones en el mismo concepto de 4 puntos; una variación llamada QPSK con desplazamiento (OQPSK siglas de *Offset QPSK*) desplaza los 4 puntos en 45 grados, así:  $1+j$ ,  $1-j$ ,  $-1+j$ ,  $-1-j$ .

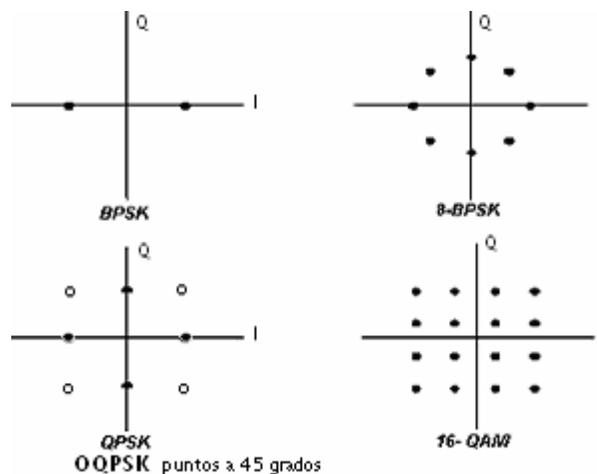
Otra variación es llamada QPSK diferencial (DQPSK siglas de *Differential QPSK*), es un esquema de modulación no coherente cuyos 4 ángulos de fase son tomados en relación con el símbolo previo.

**QAM y modulación M-aria:** la modulación M-aria es un esquema de modulación donde se envían más bits de información por período de tiempo (bits por símbolo). En el contexto de PSK, señalando PSK M-símbolos implica la extensión del número de estados fasoriales permitidos, de 2 a 4, 8, 16 (variando como  $2^N$  donde N: número de bits).

Para 8-PSK por ejemplo hay 8 estados distintos con una señal de amplitud constante y que se mantienen dentro del círculo del plano complejo<sup>12</sup>. QAM es un esquema de modulación de amplitud en cuadratura, en realidad no solo la amplitud es modulada sino también la fase para dar una mejor distribución de los estados de señal en una gráfica de constelación, existen también transmisiones de QAM en múltiples niveles conocidos como M-QAM; teniendo hasta 3 diferentes amplitudes con el objetivo de lograr eficiencias espectrales.

Es importante mencionar que no puede transmitirse una cantidad ilimitada de bits, la restricción la pone el ruido aditivo en el canal de transmisión, cuando se tiene una constelación muy atestada y con un ruido excesivo da lugar a tasa elevada de bits con error, y para una transmisión confiable hay que minimizarla. Se muestra en la figura 6 los tipos de constelaciones de algunos métodos de modulación digital, dando una idea mejor de los conceptos.

**Figura 6.** Constelación de modulación M-QAM y M-aria



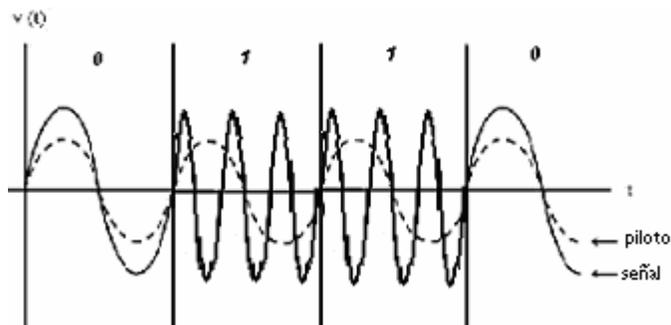
Fuente: Ian Glover y Peter Grant. **Digital communications**. Pág. 420.

<sup>12</sup>

Ian Glover y Peter Grant. Digital communications. (Inglaterra: Prentice Hall, 1998) p. 388.

**FSK (siglas en inglés de *Frequency Shift Keying*):** es una modulación digital que en su forma más simple se transmiten dos frecuencias, a intervalos de tiempo predeterminados se examina la presencia de un bit uno y la frecuencia de la señal portadora aumenta; si es un bit cero, la frecuencia permanece igual a la señal piloto<sup>13</sup>. El esquema de esta modulación se presenta en la figura 7.

**Figura 7.** Esquema de modulación FSK



Fuente: Ian Glover y Peter Grant. **Digital communications**. Pág. 375.

### 2.2.1.3. Técnicas de acceso

Un canal de radio realmente es útil cuando varios usuarios pueden usarlo simultáneamente, la habilidad de enviar más de una señal al mismo tiempo es conocida como acceso múltiple; en general hay varias maneras diferentes en que múltiples usuarios envían información a través del canal de comunicación hacia un receptor, sin embargo, se resaltan solamente dos.

---

13

Ian Glover y Peter Grant. Digital communications. (Inglaterra: Prentice Hall, 1998) p. 375.

**FDMA (siglas de *Frequency Division Multiple Access*):** es un método simple que consiste en subdividir el ancho de banda disponible del canal en un número “N” de subcanales de frecuencia sin traslape entre sí, asignando a cada usuario un subcanal una vez requerido, esta técnica de acceso es usada para transmisión de voz y datos.

**TDMA (siglas de *Time Division Multiple Access*):** el acceso múltiple por división de tiempo, es un método para crear “N” subintervalos de tiempo de duración “T”, sin traslape entre ellos; la duración de tiempo de los “N” subintervalos es “NT” y se le denomina duración de cuadro (*frame*), a cada usuario que requiera transmitir información se asigna a una ventana de tiempo particular dentro de cada cuadro, se usa frecuentemente en transmisión de datos y voz digital.

#### **2.2.1.4. Encriptación**

Criptografía significa escritura escondida, cuando un usuario quiere mandar información confidencial; se aplican técnicas criptográficas para poder esconder el mensaje (cifrado o encriptado), se envía el mensaje por un canal de comunicación que se supone inseguro y después solo el receptor autorizado podrá leer el mensaje escondido (descifrado o desencriptado). En algunos sistemas de radio se utilizan dos mecanismos de encriptación:

- **Encriptación de interfaz aérea:** encripta el canal de radio entre estación base y el terminal (estaciones móviles).

- **Encriptación terminal a terminal:** encripta la transmisión entre estaciones móviles.

## Estándares de encriptación

**DES (siglas de *Data Encryption Standard*)<sup>14</sup>:** es un estándar de encriptación de datos, donde teniendo una llave común se recupera la información original, toma como entrada un bloque de 64 bits del mensaje y este se somete a 16 interacciones, en la práctica el bloque de mensaje tiene 56 bits; se obtiene el bloque de 64 bits debido a la adición de un bit de paridad a cada conjunto de 7 bits. Dependiendo de la naturaleza de la aplicación DES tiene 4 modos de operación para implementarse.

- **ECB (siglas de *Electronic Codebook Mode*):** para mensaje cortos de menos de 64 bits.
- **CBC (siglas de *Cipher Block Chaining*):** para mensajes largos.
- **CBF (siglas de *Cipher Block Feedback*):** para cifrar bit por bit o byte por byte (1 byte tiene 8 bits).
- **OFB (siglas de *Output Feedback*):** tiene el mismo uso que CBF a diferencia que evita la propagación de error.

La opción que se ha tomado para suplantar a DES, ha sido usar un sistema de cifrado múltiple; consiste en aplicar varias veces el mismo algoritmo para fortalecer la longitud de la clave, tomando la forma de un nuevo sistema conocido como triple DES<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup>

W. Friedman. "Cryptology", *Enciclopedia Británica*, (6): 844-851. 1967.

<sup>15</sup>

P. Rogaway, "The security of DESX", *CryptoBytes*, 2 (2): 8-10. 1996.

**AES (siglas de *Asymmetrical Encryption System*):** es un estándar de encriptación avanzado usado como cifrador de bloques, de flujo continuo y discontinuo, genera números pseudo aleatorios y es un algoritmo de 256 bits.

**OTAR (siglas de *Over the air re-keying*):** codificador estandarizado sobre el aire, es la manera utilizada para incrementar la utilidad de los sistemas criptográficos, permitiendo la transferencia de claves de encriptación vía radio; esta facilidad permite reemplazar o instalar una unidad móvil sin tocar físicamente el terminal. La señalización usada se envía como paquetes de datos sobre la interfaz aérea común.

## **2.2.2. Clasificación de sistemas**

Por lo general un sistema móvil terrestre de radio se diseña usando dos principales arquitecturas: convencional y troncalizada (véase sección 2.3).

### **Sistemas convencionales**

Un sistema convencional permite el uso del canal solamente si algún usuario no lo tiene asignado, de lo contrario el usuario deberá esperar hasta que el canal este disponible; se puede enviar datos en los PMR convencionales utilizando modulación FSK.

Los sistemas convencionales operan en modo de despacho, y de acuerdo a la explotación del canal asignado los modos de funcionamiento son: simplex, semi-duplex y duplex.

**Simplex:** en la operación simplex, un terminal del sistema transmite, mientras la otra terminal recibe, en esta modalidad no es posible la transmisión y recepción simultánea. El sistema de despacho simplex consiste de una estación base y unidades móviles, todas operando a una simple frecuencia (F1).

**Semi-Duplex:** esta operación es comúnmente usada en sistemas LMR de seguridad pública, en su funcionamiento; la estación base y unidades móviles transmiten en dos frecuencias diferentes (F1 y F2). La estación base transmite en la frecuencia del receptor de la unidad móvil y la unidad móvil transmite en la frecuencia del receptor de la estación base, sin embargo, este sistema no permite transmisión y recepción simultánea.

La configuración del sistema semi-duplex fue diseñada para permitir una operación de tipo repetidor. Las estaciones repetidoras utilizan este modo de operación, recibiendo con una antena separada en una frecuencia y retransmitiendo en otra antena a una frecuencia diferente, si quiere operarse el sistema con una sola antena se necesita de un duplexor; este habilita la antena para propósitos de transmisión y recepción simultánea<sup>16</sup>.

**Duplex:** en este tipo de operación los radios pueden transmitir y recibir simultáneamente, y al igual que semi-duplex usa dos frecuencias, pero tienen la diferencia en que tanto el transmisor como el receptor están encendidos y activados siempre. En la figura 8 se muestra la operación de un sistema convencional, resaltando los modos de operación<sup>17</sup>.

---

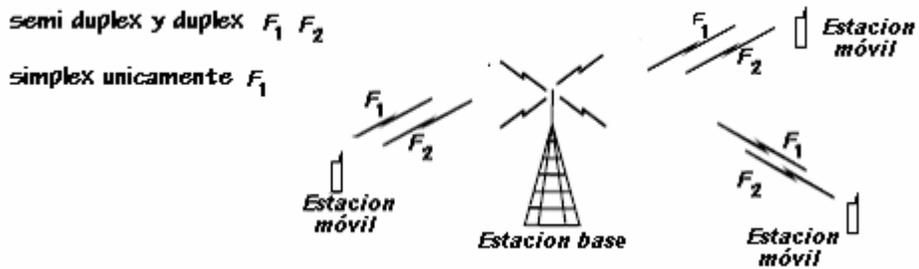
<sup>16</sup>

Allen Booz & Hamilton. Comparisons of conventional and trunked systems. (Estados Unidos: Public Safety Wireless Network, 1999) p. 3.

<sup>17</sup>

Loc. Cit.

**Figura 8.** Modos de operación del sistema convencional



Fuente: Bozz Allen & Hamilton. **Comparisons of conventional and trunked systems.** Pág. 4.

### 2.2.3. Técnicas de extensión de cobertura

Existen diferentes técnicas para incrementar el área de cobertura de una estación base, se mencionan las principales:

**Sistemas de sitio simple:** son diseñados para proveer cobertura para una pequeña área geográfica (célula), como en las instalaciones de una fábrica o una pequeña región. Todos los radios móviles deberán estar dentro del área de cobertura de la estación base<sup>18</sup>.

---

18

Allen Booz & Hamilton. Comparisons of conventional and trunked systems. (Estados Unidos: Public Safety Wireless Network, 1999) p. 4.

**Sistemas de votación:** es un sistema que utiliza un número de estaciones base actuando como sitios receptores solamente (receptores votadores), reciben señales débiles de estaciones móviles y las envían a través de enlace telefónico o de microonda a la estación base o repetidora, la señales recibidas se comparan y se vota por la mejor señal; la señal votada es la que escucha el despachador<sup>19</sup>.

**Sistemas de sitio múltiple:** para incrementar la cobertura se utilizan los siguientes sistemas de sitio múltiple:

- **Sistemas de transmisión simultánea:** estos sistemas usan varias estaciones base/repetidoras separadas geográficamente (células o celdas) que transmiten en la misma frecuencia simultáneamente. Se utiliza un sistema de sincronización para establecer todas las transmisiones al mismo tiempo sobre un mismo canal de radio<sup>20</sup>.
- **Sistemas de transmisión múltiple:** estos sistemas tienen la misma cobertura que los sistemas de transmisión simultánea, con la diferencia que transmiten sobre canales de radio diferentes en cada célula, de manera que se reutilizan frecuencias, pero asegurando que cada célula no tenga la misma frecuencia que células vecinas.

---

<sup>19</sup>

Allen Booz & Hamilton. Comparisons of conventional and trunked systems. (Estados Unidos: Public Safety Wireless Network, 1999) p. 4.

<sup>20</sup>

Ibid., p. 6.

Se elimina la interferencia de canales paralelos por sitios múltiples, permitiendo además una gran acceso de señal dentro de las células haciendo estas más pequeñas, sin embargo, se necesitan frecuencias adicionales (problema debido al limitado espectro disponible) cuando se incrementé el número de usuarios. El patrón de reutilización de frecuencias esta definido por la relación entre la distancia de células con frecuencia idéntica y el radio de la célula, este último es función de la relación portadora-interferencia (interferencia producida por el canal de celda adyacente); requerida para el diseño del sistema<sup>21</sup>.

### **2.3. Sistemas troncalizados**

La radio troncalizada, es la agrupación de varios canales de radio para que todos los usuarios de una área dada tengan acceso automático a través de una unidad lógica de control a cualquier canal libre, permite servir a mayor número de usuarios al mismo tiempo; usando generalmente la técnica de cobertura de sitios múltiples, en términos de sistemas troncalizados al grupo de canales se le conoce como grupo de charla (*talk-groups*). Los sistemas troncalizados permiten comunicarse de un móvil al resto de móviles o de móvil a móvil<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup>

Allen Booz & Hamilton. Comparisons of conventional and trunked systems. (Estados Unidos: Public Safety Wireless Network, 1999) p. 8.

<sup>22</sup>

Ibid., p. 9.

### **2.3.1. Sistema troncalizado centralizado**

Es un tipo de arquitectura de sistema troncalizado clasificado según la implementación del sistema lógico de control del canal. El sistema proporciona comunicación con las unidades por medio del canal de control, el resto de canales actúan como canales de tráfico para la comunicación entre usuarios del sistema de radio, utiliza equipo de tecnología digital con microprocesadores para gobernar todas las estaciones base/repetidoras, después de recibir y procesar las peticiones de servicio sobre el canal de control.

Cuando hay usuarios que no se están comunicando, continuamente monitorean el canal de control y cuando necesitan comunicarse; envían sobre él una petición de canal a la estación base, ella a su vez conecta el canal de tráfico disponible con el usuario que inició la comunicación.

Este tipo de arquitectura generalmente coloca las llamadas bloqueadas en una cola, usando el principio: primero en entrar primero en salir; para esperar un canal disponible, minimizando así las llamadas pérdidas. Para evaluar el rendimiento de la carga de tráfico se usa el modelo Erlang C, el cual calcula el retardo promedio en la cola<sup>23</sup>.

#### **Configuración típica del sistema**

El sistema centralizado se compone de varios elementos interconectados, dando un sistema muy eficaz.

---

23

Allen Booz & Hamilton. Comparisons of conventional and trunked systems. (Estados Unidos: Public Safety Wireless Network, 1999) p. 10.

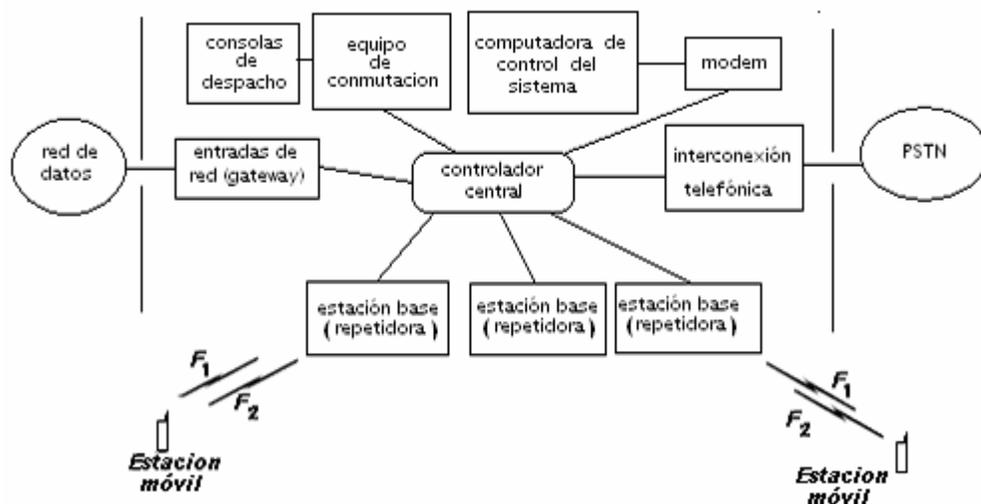
**Control de acceso:** puede estar en cada unidad móvil o centralizada en el sitio de la estación base.

**Equipo de conmutación:** el que proporciona la relación entre consolas despachadoras y el controlador central.

**Computadora de gestión del sistema:** permite el acceso de la computadora a través del MODEM (acrónimo de modulador y demodulador) supervisando al controlador central.

Los sistemas troncalizados pueden ser programados de acuerdo a las necesidades del usuario e incluir opciones específicas como grupo de charla, encriptación, operación de emergencia, acceso telefónico y acceso a las redes de datos. En la figura 9 se puede observar su configuración.

**Figura 9.** Sistema troncalizado centralizado



Fuente: Bozz Allen & Hamilton. **Comparisons of conventional and trunked systems.**

### 2.3.2. Sistema troncalizado descentralizado

Conocido como sistema con señalización de control subaudible o sistema basado en exploración; no requiere un canal de control separado, y todos los canales son utilizados para la comunicación entre usuarios. Cada usuario del sistema de radio monitorea continuamente la transmisión subaudible de datos de control sobre un canal propio, el canal propio es aquel asignado a un usuario particular donde la repetidora transmite frecuencias.

La información de control recibida subauditamente dice a los usuarios a qué canal deberían cambiarse para iniciar una comunicación si lo necesitan; les indica también, si todos los canales están ocupados, cualquier usuario que intente iniciar una comunicación escuchará un tono de ocupado y deberá intentar después; ya que este sistema no lo pone en espera.

La lógica en este sistema es distribuida entre cada una de las estaciones base, se conecta un bus de datos a todos los sitios para actualizar la lógica de cada una; reflejando qué canales y qué sitios están activos o vacantes, así el sistema puede operar sin un controlador. El diseño generalmente es limitado a 15 canales y para evaluar el rendimiento de la carga de tráfico se usa el modelo Erlang B, el cual calcula la probabilidad de llamadas bloqueadas<sup>24</sup>.

---

24

Allen Booz & Hamilton. Comparisons of conventional and trunked systems. (Estados Unidos: Public Safety Wireless Network, 1999) p. 11.

### 2.3.3. Modos de troncalización

La administración de la comunicación se lleva a cabo de tres formas:

**Mensaje troncalizado:** utiliza un tiempo de caída, que permite un canal de comunicación sin interrupción para una conversación completa entre varios usuarios. Provee una gran disponibilidad del canal para los usuarios.

**Transmisión troncalizada:** el canal de comunicación es abandonado cada vez que el usuario suelta el botón del radio para hablar (PTT siglas en inglés de *Push to talk*) en una conversación continua. Como no existe un tiempo de caída, la conversación es transferida a otro canal cuando las partes secundarias presionan el botón del radio para responder. Este tipo de troncalización provee una gran disponibilidad del canal al sistema.

**Transmisión casi troncalizada:** opera similarmente al modo de transmisión troncalizada, con la diferencia que mantiene el canal abierto alrededor de 5 segundos después que el usuario suelta el PTT; si dentro de ese tiempo no recibe respuesta el usuario, entonces el sistema opera en modo transmisión troncalizada.

### 2.3.4. Análisis de Tráfico

El tráfico es definido como la cantidad de datos o voz que se transmiten sobre un canal, durante un período de tiempo dado (hora cargada o de mayor demanda, da los resultados en el peor de los casos).

**Grado de servicio (GoS siglas en inglés de *Grade of Service*):** es un punto de referencia, que provee una medida de la capacidad del sistema para dar acceso a los usuarios durante una hora ocupada. Para sistemas troncalizados descentralizados, se define como la probabilidad de que las llamadas sean bloqueadas al intentar engancharse al canal, se escribe como factor de bloqueo P.xx, donde xx es el porcentaje de llamadas que son bloqueadas por el tráfico del sistema.

**Probabilidad de retardo en cola:** otra especificación de GoS para un sistema de arquitectura centralizada, está en el retardo en la cola de llamadas bloqueadas, se considera que el 95 % de las llamadas en sistemas de seguridad pública tendrían menos de un segundo de retardo en espera (algunos sistemas tienen un máximo de 5 segundos).

Para el análisis de carga de tráfico en un canal activo, se necesita básicamente los siguientes datos<sup>25</sup>:

**Determinar GoS:** dados por los usuarios según la arquitectura del sistema necesitado. El típico GoS para aplicaciones de seguridad pública es 1% (P.01).

**Determinar carga de tráfico de usuarios en hora cargada:** incluye el porcentaje de radios usados al mismo tiempo para calcular la carga de tráfico para varios perfiles de usuario (llamadas en grupos, individuales, interconexión telefónica y la duración promedio de llamada).

---

25

V. Frost & B. Melamed, "Traffic modeling for telecommunications networks", IEEE Communications Magazine, 32 (3): 70-80. 1994.

La carga de tráfico se calcula con la ecuación:

$$A = (\mu \times \lambda \times T) \div 3600 \quad (\text{erlangs})$$

Donde:

$\mu$ : número de usuarios activos que pueden llamar en horas cargadas.

$\lambda$ : velocidad de llegada de llamada por usuario (PTT por usuario), incluye valores distintos para llamada de grupo, individual e interconectada.

$T$ : duración en segundos, de llamada de grupo, individual e interconectada.

A: tráfico total en una hora, medido en erlangs, también puede medirse en segundos de llamada centum (CCS siglas en inglés de *Centum Call Seconds*) dividiendo entre 100 en lugar de 3600.

**Determinar el número de canales requeridos:** se necesita tener GoS y el valor de tráfico ofrecido, usando las tablas para cálculos tabulados erlang b y c, además de conocer el método de acceso FDMA o TDMA. Por otro lado si se conoce el número de canales y la carga de tráfico se puede determinar el GoS del sistema.

**Erlang B:** este modelo de tráfico esta basado en ciertas asunciones: un número de fuentes de llamada infinita, patrón de llegada de tráfico aleatorio, llamadas bloqueadas o pérdidas y tiempos de espera con distribución exponencial. Para el cálculo se utiliza la ecuación:

$$B(C,A) = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{K=0}^C \frac{A^K}{K!}}$$

Donde:

B (C,A): es la probabilidad de bloqueo de llamada (%).

C: es el número de canales.

A: es la carga de tráfico (erlangs).

**Erlang C:** este modelo de tráfico asume: un número de fuentes infinita, un patrón de llegada de tráfico aleatorio, llamadas puestas en cola y tiempos de espera distribuidos exponencialmente. Se calcula con la ecuación:

$$C(C,A) = \frac{\frac{A^C C}{C!(C-A)}}{\sum_{K=0}^{C-1} \frac{A^K}{K!} + \frac{A^C C}{C!(C-A)}}$$

Donde:

C (C,A): es la probabilidad de retardo de llamada en cola (%).

C: es el número de canales .

A: es la carga de tráfico (erlangs).

### 2.3.5. Banda de frecuencia

Para el Estado de Guatemala están reservadas bandas de frecuencias, una de ellas puede ser utilizada para el sistema troncalizado estatal de seguridad pública: entre 417.0000 y 418.5000 MHz y en la banda 427.0000 y 428.5000 MHz, aunque existen otras bandas disponibles; la seleccionada ofrece ventajas significativas de propagación, y dentro de la banda de 400 MHz se encuentran los actuales sistemas de seguridad pública.

Según el método de modulación se dispone de canalizaciones de 25 KHz, 12.5 KHz o bien 6.25 KHz, permitiendo las últimas una eficiencia espectral de 2 y 4 veces respectivamente (relación entre 25 KHz y la canalización seleccionada).

### **2.3.6. Efectos de propagación**

A frecuencias ultra altas la señal de radio sufre desvanecimientos, y en un sistema móvil terrestre prevalece el efecto multitrayecto, por lo que no puede aplicarse el modelo de propagación de espacio libre, a causa de esto y por la falta de un método teórico que tenga en cuenta los terrenos variantes, es necesario un método empírico que prediga las pérdidas del trayecto; se basan en fórmulas que se han ajustado a mediciones realizadas durante años y en varios escenarios de propagación.

**Método de Okumura-Hata<sup>26</sup>**: este modelo puede utilizarse en la banda de 400 MHz para predecir la potencia de la señal para cualquier distancia entre transmisor y receptor (modelo de propagación de gran escala), se aplica a la simulación de propagación en medios urbanos, suburbanos y rurales. Se considera a toda la ciudad de Guatemala como región urbana.

---

<sup>26</sup>

T.S. Rappaport. Wireless communications principles and practice. (Primera edición; Estados Unidos: Prentice Hall, 1996) pp. 119-120.

Las pérdidas de la señal de un móvil en entorno urbano se calculan con la siguiente ecuación:

$$L_b = 69.55 + 26.16 * \log f - 13.82 * \log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55 * \log h_t) * \log d$$

Donde:

$L_b$ : pérdidas medianas de propagación por trayectoria (dB).

$f$ : frecuencia en MHz,  $150 < f < 1500$  MHz.

$h_t$ : altura de la antena transmisora,  $30 < h_t < 200$  m.

$h_m$ : altura de la antena receptora,  $1 < h_m < 10$  m.

$d$ : distancia en Kms entre transmisor y receptor,  $1 < d < 20$  Kms.

$a(h_m)$ : corrección a la altura de la antena móvil (dB), para una altura de la antena receptora de 1.5m,  $a(h_m) = 0$ , para alturas diferentes, considerando ciudad grande y frecuencia de operación mayor a 300 MHz,  $a(h_m) = 3.2 * (\log 11.57 h_m)^2 - 4.97$ .

### 2.3.7. Tipos de sistemas

Se refiere al tipo de sistema de acuerdo al formato de información que transmite:

**Sistemas analógicos:** primeros sistemas utilizados en transmisión de señales de voz usando modulación de frecuencia, los datos enviados se degradan porque se convierten en tonos.

Utilizan señalización selectiva mediante tonos (FDMA), algunos sistemas troncalizados utilizan un canal de control con señalización digital y canales analógicos de voz.

**Sistemas digitales:** transmite la señal de voz en formato digital, además de servicios de datos. Estos sistemas se caracterizan por tener todos los canales de tráfico y de control digitales; utilizan el método de acceso TDMA y la información digital puede encriptarse para aumentar la seguridad en el sistema, se permite usar efectivamente el espectro usando los formatos de codificación digital, reduciendo el ancho de banda de 25 KHz de sistemas analógicos hasta 12.5 KHz y 6.25 KHz.

### 2.3.8. Cálculo de cobertura

Utilizando antenas con patrón de radiación omnidireccional, y en condiciones de campo lejano la potencia recibida se relaciona con la ecuación:

$$P_r = P_t - L_{tr} - L_{at} - L_d + G_t + G_r - L_b \quad (\text{dB})$$

Donde:

$L_b$ : pérdidas de propagación (dB).

$P_t$ : potencia entregada (dB).

$L_{tr}$ : pérdidas de la sección de alimentación o circuito de acoplo (dB).

$L_{at}$ : pérdidas en el circuito de antena o rendimiento (dB).

$L_d$ : pérdidas diversas (dB).

$G_t, G_r$ : ganancias de la antena transmisora y receptora respecto a una antena isotrónica en dB.

Para determinar el patrón de reutilización de frecuencias se utiliza la ecuación:

$$J \geq \frac{1}{3} (6 * R_p)^{\frac{2}{n}}$$

Donde:

$J$ : determina el número de celdas por racimo (*cluster*).

$R_p$ : razón de protección (dB), valor mínimo de la relación portadora interferencia para garantizar la calidad adecuada.

$n$ : constante que depende de la propagación, se usa  $n=3.8$  en medios urbanos.

El área de una celda o célula se calcula de siguiente ecuación:

$$A_{celda} = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} \quad Km^2$$

Donde:

$R$ : radio de celda (Km).

El número de celdas se encuentra aplicando la ecuación:

$$N_{celdas} = \frac{A_{zonatotal}}{A_{celda}}$$

Donde:

$A_{zonatotal}$  : área de cobertura deseada.

$A_{celda}$  : área de celda.

Cada celda usando el mismo canal, se coloca una distancia "D" dada por la ecuación:

$$J = \frac{1}{3} \left( \frac{D}{R} \right)^2$$

Donde:

J: celdas por racimo.

R: radio de celda (Kms).

D: distancia de repetición de canal (Kms).

### **2.3.9. Interconexión**

Todos los sistemas troncalizados requieren una interconexión desde los diferentes sitios a un controlador central; se pueden considerar enlaces por medio de cable de fibra óptica, enlaces por microonda o a través de cables de cobre usando el protocolo de Internet.

### **2.3.10. Ventajas y desventajas con relación al sistema convencional**

**Ventajas:** utiliza una computadora para seleccionar un canal y monitorear el repetidor antes de una transmisión de manera automática. Permite añadir seguridad al sistema contra escuchas no autorizados, tiene la característica de poder manejar grupos y subgrupos de charla.

**Desventajas:** incluye el incremento de la complejidad de la infraestructura con relación a la adición de antenas y sitios repetidores, además de las desventajas inherentes a todos los sistemas de radio como: interferencia atmosférica y la poca fiabilidad en algunos ambientes.

## **2.4. Sistema 911**

El 911 es un sistema en el cuál el ciudadano se siente protegido, sabiendo que en cualquier caso de emergencia puede tener acceso al servicio de seguridad pública con la mayor rapidez posible, haciendo una llamada telefónica a un número fácil de marcar inclusive en la oscuridad, fácil de recordar y reconocido internacionalmente.

### **2.4.1. Funcionamiento básico**

Un ciudadano en situación de peligro podrá realizar una llamada desde cualquier teléfono (fijo o celular) al número 911, donde personal preparado atenderá su petición de ayuda y de acuerdo al caso; acudirá una patrulla de policía, ambulancia o personal del departamento de bomberos al lugar de la emergencia.

**Funciones de los operadores del 911:** los operadores son las personas encargadas de recibir las llamadas, y a la vez comunican vía radio cada paso al personal especializado. Los operadores son estrictamente oficiales de la policía, y el personal especializado del 911 incluye policías y bomberos.

### **2.4.2. Medidas de seguridad**

La seguridad en la comunicación se hace importante, debido a que personas no autorizadas pueden adquirir equipo electrónico para interceptar la radiocomunicación y convertirse en escuchas no deseados. En la tecnología digital es posible implementar la encriptación de datos y voz; haciendo la comunicación más confiable.

### **2.4.3. Interoperabilidad**

Es el proceso de conectar grupos diferentes usando sistemas de radio diferentes, y tecnologías de comunicación distintas (teléfonos, radios y comunicaciones celulares).

Pueden conectarse los diferentes grupos de dos maneras, de acuerdo al uso de la infraestructura de comunicación.

**Infraestructura independiente:** la interconexión entre unidades suscritas utilizando un canal de radio directo.

**Infraestructura dependiente:** se hace uso de toda la infraestructura del sistema troncalizado.

Sin importar el uso de la infraestructura, la interoperabilidad debe satisfacer uno o ambos requerimientos siguientes:

**Jurisdicción múltiple:** la comunicación inalámbrica que involucra dos o más agencias similares teniendo áreas de responsabilidad diferente. Por ejemplo, un cuerpo de bomberos de una ciudad comunicándose con otro en otra ciudad.

**Múltiples disciplinas:** es la comunicación inalámbrica que involucra dos o más agencias diferentes. Por ejemplo, una estación de policía comunicándose con una estación de bomberos.



### 3. ESTÁNDARES DE RADIOCOMUNICACIÓN APLICADOS A SEGURIDAD PÚBLICA

#### 3.1. Estándares

Los estándares son esencialmente arreglos de alcance nacional e internacional, permiten la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes; especificando la forma de conexión y procedimientos a seguir para comunicarse a través de ellos.

##### 3.1.1. Tipos de estándares

Se mencionan los principales tipos de estándares y su regulación:

**Estándares internacionales:** aprobados por una organización oficial reconocida por múltiples gobiernos y compañías.

**Estándares nacionales:** aprobados por una organización casi gubernamental y además pueden ser regulados por una organización oficial del gobierno.

**Estándares de propietarios:** son desarrollados y mantenidos por una compañía, cuya licencia es otorgada a otras compañías y así desarrollar sistemas compatibles.

**Estándares abiertos:** se da origen cuando una organización pone a disposición general su estándar de propietario sin cargo alguno.

**Estándares de facto:** son maneras aceptadas de hacer las cosas que prevalecen en la sociedad.

### **3.1.2. Estándares aplicados a seguridad pública**

Existen diferentes sistemas que pueden formarse a través de los estándares que permiten transmisión de información analógica y/o digital, se nombran algunos: DECT, DIMRS, IDRA, EDACS, MPT 1327, TETRA, APCO PROJECT 25.

### **3.2. TETRA**

TETRA acrónimo de *Terrestrial Trunked Radio*, es un estándar internacional desarrollado por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones, utilizado en sistemas digitales de radio, facilita la comunicación de voz o datos entre usuarios del sistema; permitiendo interoperabilidad entre ellos.

### **3.2.1. Formato de modulación**

La modulación digital usada es  $\pi/4$  DQPSK, es la modulación DQPSK con un desplazamiento de 45 grados, utiliza un filtro de coseno alzado en raíz en el receptor y otro en el transmisor, dando en conjunto, una respuesta del filtro de coseno alzado; su principal funcionamiento es minimizar la interferencia entre símbolos que se transmiten a una tasa de 18 K símbolos por segundo (36 Kbits/s) en la interfaz aérea<sup>27</sup>.

En la transmisión de datos encriptados (usando el estándar de encriptado OTAR) en modo circuito, el estándar soporta una tasa de 2.4 a 7.2 Kbits/seg, y datos sin proteger a una tasa de 28.8 Kbits/seg.

Los datos transmitidos pueden ser enviados en ventanas de tiempo vacías e inclusive usar más de una ventana para incrementar la velocidad; útil para transmisión con el equipo adecuado de: información gráfica, imágenes escaneadas como huellas digitales, imágenes de una cámara comprimidas a baja velocidad, y accesos a base de datos o archivos.

### **3.2.2. Método de acceso**

En la interfaz aérea utiliza TDMA, cada portadora de radio es dividida en cuatro ventanas de tiempo; cada llamada es asignada a una ellas.

---

<sup>27</sup>

Final draft telecommunications series, ETSI EN 300 392-2 V2.5.1 (2005-07), European Telecommunications Standards Institute. Pp. 50-52.

Las portadoras son espaciadas a intervalos de 25 KHz, resultando una eficiencia bastante alta, debido a que cada usuario efectivamente ocupa solamente 6.25 KHz del espectro. Los tiempos de preparación de llamada de 300 milisegundos, son los originados desde que el usuario pulsa el PTT hasta tener comunicación con otros usuarios. TETRA permite la transmisión de punto a multipunto.

Las características de la jerarquía de TDMA usada en TETRA<sup>28</sup>:

- **Duración de la ventana de tiempo:** 14.167 milisegundos, transmitiendo información a una velocidad de modulación de 36 Kbits/s; lo que significa que cada ventana contiene alrededor de 510 bits.
- **Duración de trama:** es cuatro veces la duración de ventana, es decir 56.67 ms.

### 3.2.3. Señales digitales

Se obtienen de un codificador y decodificador propuesto por SGS Thomson, reduce la información de voz digitalizada a una velocidad de 4.567 Kbits/s, y se asegura que la transmisión sea confiable sobre la interfaz aérea.

---

28

Final draft telecommunications series, ETSI EN 300 392-2 V2.5.1 (2005-07), European Telecommunications Standards Institute. Pp. 87-88.

#### 3.2.4. Modos de llamada

En TETRA se pueden manejar las llamadas de tres modos diferentes:

**Modo troncalizado:** es el modo de operación regular para sistemas móviles de radio, los radios TETRA están en comunicación directa con la estación base; la cuál asigna el canal para la llamada.

**Modo directo (DMO siglas de *Direct Mode Operation*):** cuando dos terminales realizan una conversación entre ellas sin la intervención de una estación base, lo que significa extender el área de cobertura normal. DMO es útil si los radios utilizados están fuera del rango de cobertura de una estación base existente.

**Modo repetidora:** la radio en un vehículo puede funcionar como una repetidora en modo directo para todos los radios portátiles cercanos. A causa de la mayor potencia del transmisor de un radio dentro de un vehículo, le habilita contactar a móviles remotos; si un móvil contacta una estación base a través de otro móvil es una entrada de modo directo.

#### 3.2.5. Características de llamada

Además de la tradicional preparación de una llamada PTT, las llamadas pueden ser de usuarios individuales o en grupos; los grupos pueden predecirse, tal qué, el que efectúa la llamada solamente identifique el grupo al que quiere contactar.

En la retransmisión de llamada se envía un mensaje unidireccional a todos los radios en un área predefinida, esta característica puede ser usada por un despachador para localizar al usuario más cercano para un incidente particular, el área puede ser seleccionada por el despachador. Además las unidades de radio pueden ser configuradas para que operen únicamente dentro de cierta área geográfica.

Las llamadas de voz son posibles en modo simplex, semi-duplex y duplex, aunque un sistema TETRA puede ser para datos solamente. En cualquier modo de operación de un radio, el estándar soporta otras características como: llamadas marcadas como en un teléfono celular, identificación de llamadas, llamadas en espera y llamadas transferidas, además de listas de búsqueda.

### **3.2.6. Banda de frecuencia usada en los canales**

Las estaciones móviles deberán transmitir hacia la estación base, restando las frecuencias máxima y mínima destinada para este propósito. La estación base transmitirá hacia las estaciones móviles, restando las frecuencias máxima y mínima asignadas para transmisión descendente.

### 3.2.7. Modos de operación

La forma de gestionar la comunicación en TETRA puede hacerse mediante dos modos principales<sup>29</sup>: modo de transmisión y modo de control.

#### Modos de transmisión

- **Modo de transmisión continua descendente:** la estación base siempre usa ráfagas de información descendente continua sobre la portadora principal que contiene el canal de control, si transmite sobre otras portadoras las estaciones móviles no detectan señal.
- **Modo de transmisión descendente, con portadora compartida en el tiempo:** este modo permite compartir una frecuencia portadora en cuatro celdas, ya que utiliza TDMA; asigna a cada celda un canal independiente, la estación base usa ráfagas de información descendente discontinua.
- **Modo de transmisión descendente, con control principal de canal compartido en el tiempo:** el canal de control es compartido por varias celdas, a cada celda se le asigna una división del canal de control.
- **Modo de transmisión de ventanas múltiples:** dos de los cuatro canales asignados son usados para la misma comunicación, su uso es para incrementar la velocidad de transmisión de datos o transmitir una mezcla de voz y datos.

---

<sup>29</sup>

Final draft telecommunications series, ETSI EN 300 392-2 V2.5.1 (2005-07), European Telecommunications Standards Institute. Pp. 48-49.

## Modos de control

- **Control normal:** provee los servicios de TETRA con total desempeño, se requiere de una asignación de portadora principal.
- **Control mínimo:** todos los servicios se desarrollan con un desempeño disminuido, todos los canales de cada portadora de radio deberán ser para el tráfico.

### 3.2.8. Rendimiento y potencias de transmisión

#### 3.2.8.1. Rendimiento

En condiciones de desvanecimientos en entornos urbanos, la calidad del umbral de la señal de voz a alta velocidad se alcanza a una razón de protección de 19 dB, el nivel de referencia dinámico de sensibilidad para las estaciones base y equipo móvil es de -85 dBm. Los niveles de referencia estáticos de sensibilidad para estaciones base es de -115 dBm y de equipo móvil de -112 dBm<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup>

Final draft telecommunications series, ETSI EN 300 392-2 V2.5.1 (2005-07), European Telecommunications Standards Institute. Pp. 65-67.

### 3.2.8.2. Potencias de transmisión

Las estaciones base y estaciones móviles pueden operar a diferentes potencias<sup>31</sup>.

**Estaciones base:** la potencia nominal por portadora, se define de acuerdo a una clasificación de clases de potencias.

- Clase 1: 46 dBm.
- Clase 2: 44 dBm.
- Clase 3: 42 dBm.
- Clase 4: 40 dBm.
- Clase 5: 38 dBm.
- Clase 6: 36 dBm.
- Clase 7: 34 dBm.
- Clase 8: 32 dBm.
- Clase 9: 30 dBm.
- Clase 10: 28 dBm.

**Estaciones móviles:** la potencia nominal se clasifica de acuerdo a su clase.

- Clase 1: 45 dBm.
- Clase 1L: 42.5 dBm.
- Clase 2: 40 dBm.
- Clase 2L: 37.5 dBm.

---

<sup>31</sup>

Final draft telecommunications series, ETSI EN 300 392-2 V2.5.1 (2005-07), European Telecommunications Standards Institute. P. 55.

- Clase 3: 35 dBm.
- Clase 3L: 32.5 dBm.
- Clase 4: 30 dBm.
- Clase 4L: 27.5 dBm.

### 3.3. APCO Project 25

Es un conjunto de estándares producidos a través del esfuerzo conjunto de APCO (*Association of Public Safety Communications Officials International*), y estandarizados bajo la asociación de industrias de telecomunicaciones (TIA siglas de *Telecommunications Industry Association*).

Project 25 (P25) es un estándar de arquitectura abierta, define un sistema de comunicación de radio digital que transmite voz o datos, y capaz de servir a las necesidades de organizaciones gubernamentales y de seguridad pública.

#### 3.3.1. Fases de Project 25

El desarrollo de Project 25 ha sido de forma evolutiva mediante fases<sup>32</sup>:

**Fase 1:** los sistemas de radio operan en canalizaciones de 12.5 KHz en modo analógico, digital o una mezcla de ambos, utiliza FDMA. Los sistemas en fase 1 son interoperables con otros sistemas sin importar la infraestructura.

---

<sup>32</sup>

Training Guide, TG-001 P25 RADIO SYSTEMS (2004-09), Daniels Electronics Ltd. P. 2.

**Fase 2:** el objetivo es lograr un canal de voz o un canal de datos, con una velocidad de transmisión mínima de 4,800 bits/s por cada 6.25 KHz de ancho de banda.

Su implementación involucra: el uso de técnicas de acceso como FDMA y TDMA con el fin de mejorar la utilización del espectro, la reutilización de frecuencias e interoperabilidad con sistemas analógicos de 12.5 KHz, además de poder interconectar repetidoras y otros subsistemas.

**Fase 3:** se orienta al incremento de la velocidad para la transmisión de datos, permitiendo a los sistemas de seguridad pública recibir y transmitir señales de video, además de voz y datos.

### **3.3.2. Acceso multiusuario**

Utiliza TDMA cuando se usan canales de ancho de banda de 25 KHz, la trama de TDMA tiene 4 ventanas de tiempo, si la canalización es de 12 KHz se usan dos ventanas de tiempo. La eficiencia mínima de espectro por ventana es de 6.25 KHz.

### **3.3.3. Modulación**

Los principales esquemas de modulación son<sup>33</sup>:

---

<sup>33</sup>

Training Guide, TG-001 P25 RADIO SYSTEMS (2004-09), Daniels Electronics Ltd. Pp. 6-10.

**C4FM:** es una modificación de 4 niveles de la modulación FSK, utiliza un filtro de coseno alzado para minimizar la interferencia entre símbolos. Usada en fase 1, resultando un ancho de banda de 12.5 KHz.

**CQPSK:** modula la fase y simultáneamente modula la amplitud de la portadora para minimizar el ancho del espectro emitido, usada en fase 2 con un ancho de banda de 6.25 KHz.

De un total de información de 9,600 bits por segundo (4,800 símbolos/s) que se envía en los canales de P25, solamente 4,400 bps son asociados con la voz digital; 2,800 bps son usados para corrección de errores (P25 tiene una BER nominal del 5%) de la señal de voz y 2,400 son designados para cabecera de la trama de señalización.

La información se encripta usando los estándares: OTAR, DES y AES, cuando envía información se puede dirigir a radios individuales y grupos de charla.

#### **3.3.4. Codificación y decodificación**

P25 usa un método específico para comprimir la voz digitalizada, se llama excitación multibanda mejorada; es un codificador y decodificador de voz, que toma una muestra de la entrada de audio y solamente transmite ciertas características que representan el sonido, el receptor usa esas características básicas para reproducir una copia del sonido de entrada, este método produce características del habla a una velocidad de 4,400 bps.

### 3.3.5. Características de señalización

Las capacidades de señalización incluyen <sup>34</sup> : llamada selectiva (identificación de fuente y destino), grupos de charla, códigos de acceso a la red (NAC siglas de *Network Access Code*) y banderas de emergencia para darle prioridad a una llamada. La señalización se envía junto la señal de voz en información digital sobre el canal de control.

### 3.3.6. Interfaz

Se describen las formas de interconectar un sistema P25 con otros componentes<sup>35</sup>:

**Entre varios sistemas:** permite la interconexión de varias redes de radio para cubrir un área extensa, las redes pueden usar diferentes tecnologías (TDMA o FDMA) y diferentes bandas de radio frecuencia.

**Interconexión telefónica:** esta interfaz se ocupa solamente con los servicios de voz, porque se asume que los servicios de datos serán provistos por la interconexión vía MODEM a la red correspondiente.

---

<sup>34</sup>

Training Guide, TG-001 P25 RADIO SYSTEMS (2004-09), Daniels Electronics Ltd. P. 11.

<sup>35</sup>

Ibid., pp. 18-23.

**Estación fija:** la interfaz basada en la conexión de las distintas estaciones base y el centro de control principal, se realiza por medio del protocolo de Internet.

**Consola de despacho:** es el conjunto de uno o más elementos, que permiten a personas usar y controlar efectivamente las capacidades y funciones del sistema de radio al cual es asignado.

Sus funciones contemplan: supervisión, despachador o contestador telefónico, hacer llamadas privadas o de grupo, y debe ser capaz de controlar el sistema troncalizado en su totalidad.

Las unidades móviles y la estación fija tienen la interfaz aérea, teniendo un tiempo de preparación de llamada menor a 500 milisegundos. Los datos pueden ser transmitidos en modo circuito o modo paquete; por medio del protocolo de Internet.

### **3.3.7. Configuración de sistemas**

Los sistemas o subsistemas se pueden configurar en sitio simple, sitio múltiple; usando lógica troncalizada.

### **3.3.8. Métodos de llamadas**

Puede funcionar en modo directo de unidad a unidad, repetido de unidad a unidad y repetido de unidad a unidad usando la infraestructura.

La operación del canal que enlaza a la repetidora, se desea esté a la misma banda de frecuencia que los demás canales de la infraestructura; para que las unidades que estén suscritas al sistema de radio puedan usar el modo directo a través de la infraestructura o el repetidor vehicular. De este modo opera similar a TETRA.

### **3.4. Comparación entre estándares**

El método de modulación y las medidas de sensibilidad, son las diferencias significativas entre P25 y TETRA.

El método de modulación usado en TETRA permite obtener una velocidad de datos de 36 Kbps en cambio en Project 25 de 96 Kbps, ambos tienen una velocidad de transmisión de voz similar: 4.4 Kbps para P25 y 4.567 bps para TETRA. Los servicios más usuales de ambos estándares son: identificación de llamadas, llamadas privadas, interconexión telefónica y a las redes de datos, llamadas selectivas a grupos, envío de mensajes, llamadas de emergencia, la capacidad de alojamiento (*roaming*) por todo el área de cobertura conforme el radio móvil se desplaza, encriptación y llamadas en espera.

Aunque ambos estándares utilizan el método de acceso TDMA, el formato es diferente por la información de señalización. En P25 el tiempo de establecimiento de una llamada a otro radio móvil es mayor que TETRA.

Es importante mencionar que el estándar TETRA puede ser utilizado en sistemas comerciales, mientras que Project 25 fue diseñado específicamente para aplicaciones de radiocomunicación en seguridad pública, sin embargo, ambos ofrecen la interoperabilidad necesaria para instituciones de seguridad pública, y la encriptación de datos para una comunicación segura.

## 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE EMERGENCIA 911

### 4.1. Diseño con TETRA

#### 4.1.1. Cálculo de cobertura

**Datos de diseño:** se toman datos de estaciones base y estaciones móviles genéricas con potencias promedio de transmisión y recepción encontradas comercialmente, se realiza un balance de potencias, y se determinan las celdas necesarias con la utilización de ecuaciones del cálculo de cobertura (véase sección 2.3.9), la distancia máxima entre transmisor y receptor en una celda se puede encontrar despejando esta variable en la ecuación del cálculo de pérdidas del trayecto (véase sección 2.3.7). El mismo proceso es utilizado en el diseño del sistema Project 25.

Se muestran los parámetros típicos usados en el cálculo de cobertura en un enlace ascendente (móvil a base: M-B) y un enlace descendente (base a móvil: B-M) en la tabla IX, considerando la ciudad de Guatemala como entorno urbano; con un área de 184 kilómetros cuadrados.

**Tabla IX.** Indicadores de estación base sistema TETRA

Parámetro		Enlace	
		M-B	B-M
Potencia transmitida estación base	dBm		44
Potencia transmitida estación móvil	dBm	30	
Ganancia antena estación base	dBi	1	1
Ganancia antena estación móvil	dBi		
Pérdidas en líneas de transmisión estación móvil	dB		
Pérdidas por alineamiento de antenas	dB		-1
Ganancia por diversidad de recepción estación base	dB	4.1	
Pérdidas duplexor en estación base	dB	-0.5	-0.5
Pérdidas por combinador en estación base	dB	-0.6	-1.2
Pérdidas por filtro de transmisión estación base	dB		
Altura antena estación base	m		30
Pérdidas línea transmisión / metro	dB/m		0.061
Pérdidas línea transmisión E. base	dB		-1.83
Margen de desvanecimiento Log-Normal	dB	-4.2	-4.2
Margen de desvanecimiento Rayleigh	dB	-3	-3
Atenuación por edificios	dB	-15	-15
Margen de interferencia	dB	-2	-2
Atenuación por cuerpo	dB	-3	-3
Sensibilidad de recepción en móvil	dBm		-112
Sensibilidad de recepción en estación base	dBm	-118	
<b>Total pérdidas del enlace</b>	<b>dB</b>	<b>125.4</b>	<b>125.5</b>

La tabla X muestra los cálculos para las celdas necesarias.

**Tabla X.** Datos de las celdas sistema TETRA

Parámetro		Enlace	
		M-B	B-M
Pérdidas de propagación	dB	125.4	125.5
Frecuencia	MHz	417	427
Altura antena estación base	m	30	30
Altura antena estación móvil	m	1	1
Corrección altura antena móvil	dB	-1.31	-1.31
Distancia entre Tx y Rx	Kms	1.657	1.638
<b>Radio de celda</b>	<b>Kms</b>	<b>1.64</b>	
<b>Area de cobertura de celda</b>	<b>Kms<sup>2</sup></b>	<b>6.97</b>	
<b>Celdas necesarias</b>		<b>26.39</b>	
Razón de protección	dB	19.00	
<b>Patrón de reutilización</b>		<b>4.03</b>	
<b>Distancia de reutilización</b>	<b>Km</b>	<b>5.70</b>	

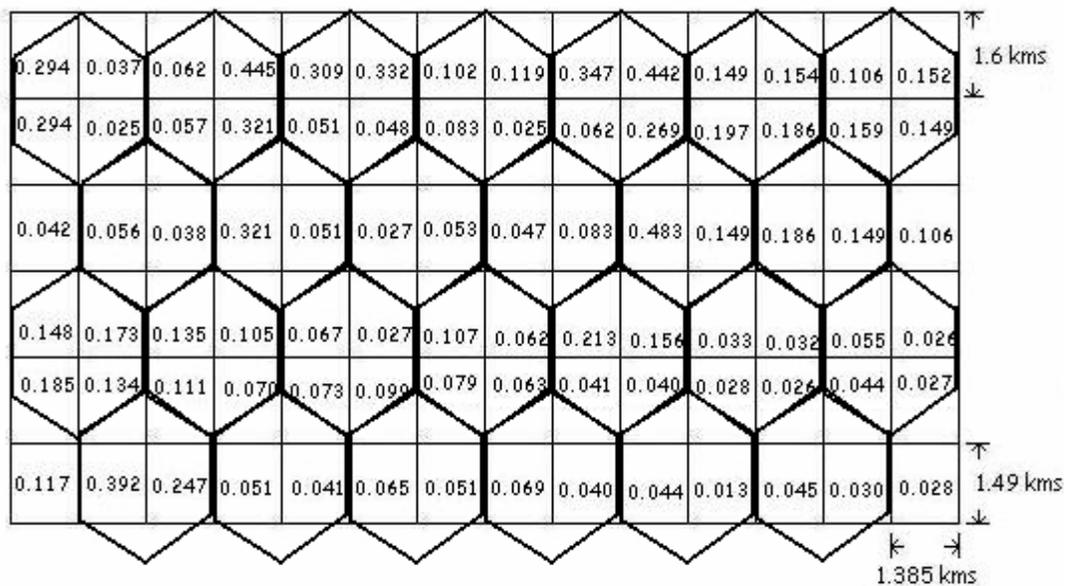
#### 4.1.2. Análisis de tráfico

Utilizando las ecuaciones de análisis de tráfico (véase sección 2.3.5) se estima el tráfico por celda, con la ayuda de la tabla Erlang C (véase el anexo) y considerando un grado de servicio (GoS) de 1% se conoce el número de canales necesarios; este dato se divide en 4, la cantidad de ventanas de tiempo en el método de acceso TDMA. El mismo proceso es utilizado en el diseño del sistema Project 25.

El área total se despliega en un rectángulo de 19.39 kms X 9.49 Kms, con un radio de celda de 1.6 Kms, asignando la estimación de tráfico en la cuadrícula del área de cobertura, así como la división por zona capitalina (véase el apéndice).

La figura 10 muestra los datos de asignación de tráfico en la zona de cobertura en el sistema TETRA.

**Figura 10.** Zona de cobertura sistema TETRA



La tabla XI reúne los datos calculados para conocer los canales necesarios en el sistema 911 con el estándar TETRA.

**Tabla XI.** Canales del sistema 911 con TETRA

Celda	Usuarios	Tráfico	Canales	TDMA	TDMA+cc
1	22	0.6510	4	1	2
2	35	0.8854	5	1	2
3	33	0.7399	4	1	2
4	19	0.3303	3	1	2
5	37	1.1196	5	1	2
6	19	0.6854	4	1	2
7	18	0.5654	4	1	2
8	6	0.0939	2	1	2
9	18	0.3718	3	1	2
10	5	0.0799	2	1	2
11	7	0.1299	2	1	2
12	17	0.6313	4	1	2
13	10	0.3343	3	1	2
14	24	0.6403	4	1	2
15	26	0.4209	3	1	2
16	23	0.2656	3	1	2
17	25	0.3105	3	1	2
18	36	0.4497	4	1	2
19	12	0.1187	2	1	2
20	12	0.1521	3	1	2
21	34	0.6388	4	1	2
22	12	0.0920	2	1	2
23	12	0.1167	2	1	2
24	12	0.1086	2	1	2
25	8	0.0567	2	1	2
26	4	0.0747	2	1	2
cc: canal de control					

### **4.1.3. Planificación de frecuencias**

Considerando como 4 el patrón de reutilización de frecuencias, se usan 8 canales para el sistema TETRA (4 canales de voz + datos y 4 canales de control), sin la reutilización de frecuencias se necesitarían 52 canales (104 pares de frecuencias).

Se divide la banda de frecuencias propuesta (véase el apéndice) y la tabla XII despliega las frecuencias asignadas a las celdas en el sistema TETRA.

**Tabla XII.** Asignación de frecuencias sistema TETRA

Celda	Usuarios	No. Canal		Frecuencias por canal (MHz)			
				Tráfico		Control	
		Tráfico	Control	Base Rx	Base Tx	Base Rx	Base TX
1	22	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
2	35	1	5	417.025	427.025	417.125	427.125
3	33	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
4	19	1	5	417.025	427.025	417.125	427.125
5	37	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
6	19	1	5	417.025	427.025	417.125	427.125
7	18	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
8	6	3	7	417.075	427.075	417.175	427.175
9	18	4	8	417.100	427.100	417.200	427.200
10	5	3	7	417.075	427.075	417.175	427.175
11	7	4	8	417.100	427.100	417.200	427.200
12	17	3	7	417.075	427.075	417.175	427.175
13	10	4	8	417.100	427.100	417.200	427.200
14	24	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
15	26	1	5	417.025	427.025	417.125	427.125
16	23	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
17	25	1	5	417.025	427.025	417.125	427.125
18	36	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
19	12	1	5	417.025	427.025	417.125	427.125
20	12	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
21	34	3	7	417.075	427.075	417.175	427.175
22	12	4	8	417.100	427.100	417.200	427.200
23	12	3	7	417.075	427.075	417.175	427.175
24	12	4	8	417.100	427.100	417.200	427.200
25	8	3	7	417.075	427.075	417.175	427.175
26	4	4	8	417.100	427.100	417.200	427.200

## **4.2. Diseño con Project 25**

### **4.2.1. Cálculo de cobertura**

**Datos de diseño:** se toman datos de dos tipos de estaciones base y estaciones móviles genéricas con potencias de transmisión y recepción nominales promedio encontradas comercialmente, se realiza un balance de potencias de forma semejante al diseño del sistema TETRA y se muestra en la tabla XIII.

**Tabla XIII.** Indicadores estaciones base A y B sistema P25

Parámetro		Tipo A		Tipo B	
		Enlace		Enlace	
		M-B	B-M	M-B	B-M
Potencia transmitida estación base	dBm		43		45
Potencia transmitida estación móvil	dBm	30		30	
Ganancia antena estación base	dBi	1	1	1	1
Ganancia antena estación móvil	dBi				
Pérdidas en líneas de transmisión estación móvil	dB				
Pérdidas por alineamiento de antenas	dB		-1		-1
Ganancia por diversidad de recepción estación base	dB	3.5		3.5	
Pérdidas duplexor en estación base	dB	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pérdidas por combinador en estación base	dB	-0.5	-0.8	-0.7	-1
Pérdidas por filtro de transmisión estación base	dB				-0.5
Altura antena estación base	m		30		30
Pérdidas línea transmisión / metro	dB/m		0.061		0.061
Pérdidas línea transmisión E. base	dB		-1.83		-1.83
Margen de desvanecimiento Log-Normal	dB	-4.2	-4.2	-4.2	-4.2
Margen de desvanecimiento Rayleigh	dB	-3	-3	-3	-3
Atenuación por edificios	dB	-15	-15	-15	-15
Margen de interferencia	dB	-2	-2	-2	-2
Atenuación por cuerpo	dB	-3	-3	-3	-3
Sensibilidad de recepción en móvil	dBm		-115		-115
Sensibilidad de recepción en estación base	dBm	-121		-116	
<b>Total pérdidas del enlace</b>	<b>dB</b>	<b>127.8</b>	<b>127.5</b>	<b>122.8</b>	<b>128.5</b>

La tabla XIV informa sobre cálculos para las celdas necesarias en sistema 911 con estándar Project 25.

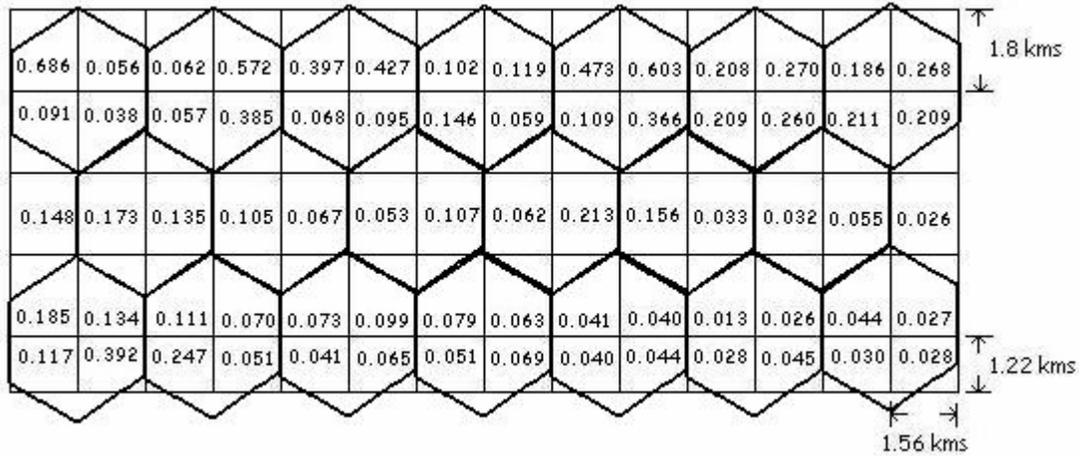
**Tabla XIV.** Datos de celdas sistema P25

Parámetro		Tipo A		Tipo B	
		Enlace		Enlace	
		M-B	B-M	M-B	B-M
Pérdidas de propagación	dB	127.8	127.5	122.8	128.5
Frecuencia	MHz	417	427	417	427
Altura antena estación base	m	30	30	30	30
Altura antena estación móvil	m	1	1	1	1
Corrección altura antena móvil	dB	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31
Distancia entre Tx y Rx	Kms	1.938	1.863	1.398	1.989
<b>Radio de celda</b>	<b>Kms</b>	<b>1.86</b>		<b>1.40</b>	
<b>Area de cobertura de celda</b>	<b>Kms<sup>2</sup></b>	<b>9.02</b>		<b>5.07</b>	
<b>Celdas necesarias</b>		<b>20.40</b>		<b>36.26</b>	
Razón de protección	dB	19.00		19.00	
<b>Patrón de reutilización</b>		<b>4.03</b>		<b>4.03</b>	
<b>Distancia de reutilización</b>	<b>Km</b>	<b>6.48</b>		<b>4.86</b>	

#### 4.2.2. Análisis de tráfico

Se aplica a la estación base tipo A ya que necesita un número menor de celdas, el área total se despliega en un rectángulo de 21.84 kms X 8.42 Kms con un radio de celda de 1.8 Kms, asignando la estimación de tráfico en la cuadrícula del área de cobertura, así como la división por zona capitalina (véase el apéndice). La figura 11 despliega los datos de asignación del tráfico en la zona de cobertura en el sistema P25.

**Figura 11.** Asignación de tráfico sistema Project 25



La tabla XV congrega los datos calculados necesarios para determinar el número de canales en el sistema 911 con el estándar Project 25.

**Tabla XV.** Canales del sistema 911 con Project 25

Celda	Usuarios	Tráfico	Canales	TDMA	TDMA+cc
1	30	0.8718	5	1	2
2	42	1.0766	5	1	2
3	44	0.9878	5	1	2
4	26	0.4268	3	1	2
5	52	1.5507	6	2	3
6	28	0.9470	5	1	2
7	28	0.8736	5	1	2
8	12	0.3083	3	1	2
9	16	0.1727	3	1	2
10	10	0.1599	3	1	2
11	18	0.2746	3	1	2
12	16	0.1890	3	1	2
13	8	0.0870	2	1	2
14	35	0.8279	5	1	2
15	35	0.4780	4	1	2
16	25	0.2783	3	1	2
17	25	0.2623	3	1	2
18	24	0.1646	3	1	2
19	8	0.1112	2	1	2
20	8	0.1293	2	1	2
cc: canal de control					

#### 4.2.3. Planificación de frecuencias

En el sistema Project 25 se estiman 9 canales (5 canales de voz + datos y 4 canales de control), a excepción de una celda que usa 2 canales de tráfico en el sistema, cada celda utiliza un canal de tráfico y un canal de control; el patrón de reutilización de frecuencias es 4 y se divide la banda de frecuencias propuesta (véase el apéndice) para asignación de canales.

La tabla XVI informa sobre la asignación de las frecuencias a las celdas necesarias en el sistema Project 25.

**Tabla XVI.** Asignación de frecuencias sistema P25

		No. Canal		Frecuencias por canal (MHz)			
				Tráfico		Control	
Celda	Usuarios	Tráfico	Control	Base Rx	Base Tx	Base Rx	Base TX
1	30	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
2	42	1	7	417.025	427.025	417.175	427.175
3	44	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
4	26	1	7	417.025	427.025	417.175	427.175
5	52	2 y 5	6	417.050	427.050	417.150	427.150
				417.125	427.125		
6	28	1	7	417.025	427.025	417.175	427.175
7	28	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
8	12	3	8	417.075	427.075	417.200	427.200
9	16	4	9	417.100	427.100	417.225	427.225
10	10	3	8	417.075	427.075	417.200	427.200
11	18	4	9	417.100	427.100	417.225	427.225
12	16	3	8	417.075	427.075	417.200	427.200
13	8	4	9	417.100	427.100	417.225	427.225
14	35	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
15	35	1	7	417.025	427.025	417.175	427.175
16	25	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
17	25	1	7	417.025	427.025	417.175	427.175
18	24	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150
19	8	1	7	417.025	427.025	417.175	427.175
20	8	2	6	417.050	427.050	417.150	427.150

### 4.3. Configuración del sistema

El sistema 911 se configura como un sistema troncalizado centralizado, las consolas de despacho se encuentran en el centro de llamada 911; donde se direcciona la ayuda necesaria, los dos grupos de charla que preliminarmente se programan son: policía y bomberos.

Grupo de charla	Sub-grupo
Policía	Estaciones
	Sub-estaciones
	Serenazgos
Bomberos	Estaciones
	Sub-estaciones

Los diseños con los estándares TETRA y Project 25 pueden tener una forma alterna con la corrección de algunos parámetros, con el objetivo de reducir el número de celdas, ya que el costo es mayor con una infraestructura extendida y una cantidad de usuarios relativamente baja en comparación con un sistema celular comercial.

Se ajusta la potencia de transmisión de los equipos y las alturas de las estaciones base (sobre colinas o lugares altos), en el balance de potencias para el equipo TETRA se supone de 1.5 vatios para la transmisión de los móviles y de 40 vatios las estaciones base, se muestra la tabla XVII con los datos sugeridos.

**Tabla XVII.** Parámetros de corrección de diseño

Parámetro		Project 25				TETRA	
		Tipo A		Tipo B			
		Enlace		Enlace		Enlace	
		M-B	B-M	M-B	B-M	M-B	B-M
Pérdidas de propagación	dB	127.8	127.5	122.8	128.5	127.4	127.5
Frecuencia	MHz	417	427	417	427	417	427
Altura antena estación base	m	120	120	120	120	120	120
Altura antena estación móvil	m	1	1	1	1	1	1
Corrección altura antena móvil	dB	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31
Distancia entre Tx y Rx	Kms	3.89	3.73	2.69	4.00	3.77	3.73
<b>Radio de celda</b>	<b>Kms</b>	<b>3.73</b>		<b>2.69</b>		<b>3.73</b>	
<b>Area de cobertura de celda</b>	<b>Kms<sup>2</sup></b>	<b>36.09</b>		<b>18.80</b>		<b>36.09</b>	
<b>Celdas necesarias</b>		<b>5.10</b>		<b>9.79</b>		<b>5.10</b>	
Razón de protección	dB	19.00		19.00		19.00	
<b>Patrón de reutilización</b>		<b>4.03</b>		<b>4.03</b>		<b>4.03</b>	

Refiriéndose al sistema Project 25 con el equipo tipo A y al sistema TETRA se necesitan 5 celdas, pudiendo utilizar 4 estaciones base y con la ayuda de repetidores dar cobertura a la ciudad, compartiendo el mismo tráfico total calculado (véase el apéndice) de 10.35 erlangs y 20 canales de voz y datos (GoS 1%).

Los diseños realizados en secciones 4.1 y 4.2, tienen contemplado el incremento de usuarios y el uso de la infraestructura troncalizada por parte de otras entidades concernientes a seguridad pública que se agreguen en el futuro.



## CONCLUSIONES

1. La importancia en delimitar la ciudad de Guatemala y los servicios públicos de seguridad, reside en la evaluación del número de usuarios que tendrán acceso al sistema de radiocomunicación, y dimensionar una sola red de telecomunicaciones de manera objetiva y no adquirir equipo redundante o sobrante.
2. Las tecnologías de radiocomunicación digital troncalizado ofrecen ventajas significativas sobre sistemas convencionales de comunicación en la utilización eficiente de los recursos humanos y materiales disponibles, razón por la que se considera adaptar en un sistema de telecomunicaciones para seguridad pública, mejorando el combate a la delincuencia, y atender llamadas de emergencia marcando el 911, número telefónico conocido y adoptado internacionalmente, la población ciudadana reciba ayuda inmediata cuando pelagra su seguridad.
3. El resultado de la comparación de los estándares de radiocomunicación TETRA y Project 25, asegura que ambos cumplen con los requerimientos principales de acceso inmediato y transferencia segura de información en un sistema de telecomunicaciones para servicios de seguridad pública, además ponen atención significativa al uso de herramientas para la administración eficiente de los canales de radio, característica importante debido al creciente uso del espectro radioeléctrico.

4. Los diseños de las redes contemplan una cobertura del 95 % de la ciudad de Guatemala, satisfaciendo el descongestionamiento de los canales de radio y la capacidad de reorganizar grupos de charla de una manera dinámica y fácil de acuerdo con las urgencias y las necesidades imperantes que tengan las entidades bomberiles y policiales. La red de radio permite la interoperabilidad para casos de ayuda mutua entre subsistemas de instituciones involucradas en los servicios de emergencia.
  
5. El modelo presenta una estructura acorde a la necesidad de la ciudadanía de tener un sistema de seguridad integrado, y que logre un desempeño elevado usando parámetros de calidad, siendo capaz de ofrecer nuevos servicios sobre un sistema de banda angosta.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario considerar un incremento de usuarios del sistema de radio, evitando una saturación en el uso de recursos y permitiendo una buena planeación del espectro radioeléctrico. Este aspecto no incluye lo relativo al crecimiento demográfico solamente sino también la inclusión de servicios auxiliares concernientes a la seguridad del ciudadano.
2. El lanzamiento de una campaña de educación sobre el uso de la numeración 911 debe ser un aliado para el desarrollo de un servicio efectivo. El centro de despacho operativo juega un papel importante en el sistema de emergencias, así la capacitación constante sobre la administración de la red con equipo de computación, será un elemento extra para lograr la meta de eficiencia.
3. La inclinación hacia una tecnología digital de radiocomunicación puede basarse en la disposición comercial inmediata de los equipos, la interacción amigable del terminal con el usuario, la completa compatibilidad de los equipos de diferentes fabricantes, pesos, tamaños y precios. Además de la evolución futura en aplicaciones multimedia que puedan ser interesantes para agencias de seguridad pública.

4. La selección de una infraestructura compleja con numerosas celdas de cobertura, permite cubrir las necesidades futuras, y disponen de capacidad individual de interconexión con otras redes telefónicas y de telecomunicaciones, contempla la posibilidad de atender nuevos usuarios sin ocupar toda la banda de frecuencias propuesta, que puede ser compartida por otras dependencias del Estado. Los emplazamientos que no soporten una cobertura significativa pueden ser sustituidos por simples repetidores.
  
5. Es necesario considerar la integración de un departamento propio de mantenimiento del sistema, con la finalidad de elevar la seguridad y operatividad en la administración del servicio de seguridad pública.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bates, Regis J. Jr. *Broadband telecommunication handbook*. 2ª ed. Estados Unidos: McGraw Hill, 2002. 573 pp.
2. Desourdis. *Emerging Public Safety Wireless Communication Systems*. Estados Unidos: Artech House, 2001. 646 pp.
3. Doble, John. *Introduction to radio propagation for fixed and mobile communications*. S.I. Artech House, 1996. 220 pp.
4. Martínez Roldán, David. *Comunicaciones inalámbricas*. s.l. Ra-ma, 2004. 392 pp.
5. Rappaport, Theodore S. *Wireless communications principles and practice*. 2ª ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2002. 736 pp.
6. WebSite Project 25, <http://www.project25.org/>: septiembre 2005.
7. WebSite TETRA, <http://www.etsi.org>: septiembre 2005.
8. Ziemer, R. E y W. H. Tranter. *Principles of communications*. 5ª ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2002. 637 pp.



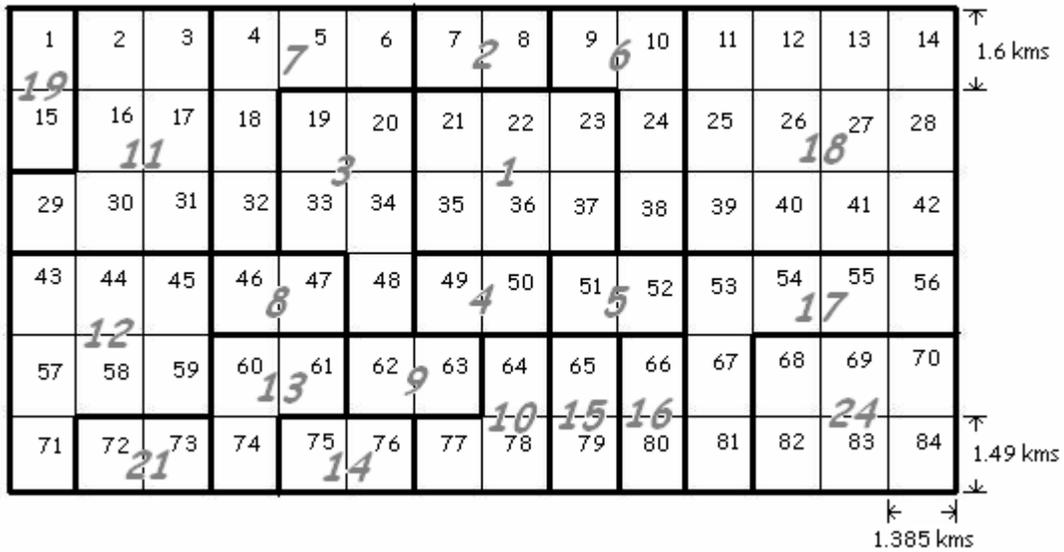
## **APÉNDICES**

Actualmente (Noviembre del año 2005) se cuenta con 20,553 agentes de policía y 900 bomberos en todo el país, estimando un agente por cada 547 habitantes, así como un bombero por cada 7,000 habitantes; de allí que en la ciudad de Guatemala con 942,348 habitantes tenga 1,723 policías y 134 bomberos, aproximadamente 1,857 elementos de seguridad pública; contemplando hasta 2,500 usuarios potenciales del sistema de radio.

Como criterio en el sistema 911 se asigna un radio por cada 5 elementos de seguridad pública; resultando en 500 usuarios del sistema 911, se asigna mayor tráfico a zonas capitalinas con una concentración mayor de población y las consideradas como peligrosas, requiriendo más presencia de bomberos y policías.

## Estimación del tráfico en el sistema 911 con estándar TETRA

**Figura 12.** Cuadrícula de zona de cobertura sistema TETRA



La figura 12 anterior muestra una división empírica de la cuadrícula de cobertura, dividido por zonas relativo al mapa de la ciudad de Guatemala (véase figura 1). La tabla XVIII presenta la distribución del tráfico del sistema TETRA.

**Tabla XVIII.** Distribución de tráfico sistema TETRA

Cuadro	usuarios	zona	Tipo de llamada						Tráfico
			Grupo		Individual + datos		Interconectada		
			PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	
1	9	19	16	3.2	6	4.2	2	60	0.294
2	2	11	7	3.5	3	3.8	1	60	0.037
3	3	11	7	4.1	4	3.7	2	60	0.062
4	14	7	15	3.6	6	3.7	2	60	0.445
5	14	7	14	2.9	7	4.1	1	60	0.309
6	14	7	16	3.9	5	4	2	60	0.332
7	6	2	7	3.8	4	3.7	1	60	0.102
8	6	2	7	4	3	3.6	2	60	0.119
9	11	6	16	4	8	3.45	1	60	0.347
10	11	6	17	3.9	7	3.49	2	60	0.442
11	5	18	17	3.9	9	3.5	1	60	0.149
12	4	18	15	4.1	6	3.52	2	60	0.154
13	4	18	14	3.2	7	3.61	1	60	0.106
14	4	18	16	3.3	7	3.72	2	60	0.152
15	9	19	16	3.2	6	4.2	2	60	0.294
16	2	11	6	3.5	3	3.5	1	60	0.025
17	3	11	7	3.2	4	4.05	1	60	0.057
18	15	7	10	4.1	5	4.02	1	60	0.321
19	3	3	7	4.2	3	4.1	1	60	0.051
20	2	3	5	4	4	3.58	2	60	0.048
21	4	1	10	4.2	5	3.54	1	60	0.083
22	3	1	8	4.1	4	3.69	1	60	0.025
23	4	1	9	3.8	6	3.76	2	60	0.062
24	11	6	13	3.9	3	3.64	1	60	0.269
25	5	18	15	4.1	9	3.9	2	60	0.197
26	5	18	15	3.9	7	4	2	60	0.186
27	5	18	16	4	9	4	1	60	0.159
28	5	18	14	4.1	8	3.52	1	60	0.149
29	2	11	7	4.1	4	3.7	2	60	0.042
30	3	11	7	3.5	3	3.8	1	60	0.056
31	3	11	6	3.5	3	3.5	1	60	0.038
32	15	7	10	4.1	5	4.02	1	60	0.321
33	3	3	7	4.2	3	4.1	1	60	0.051
34	2	3	8	3.7	4	3.55	1	60	0.027
35	3	1	7	3.6	4	2.81	2	60	0.053
36	3	1	9	3.8	6	3.76	2	60	0.047
37	4	1	10	4.2	5	3.54	1	60	0.083
	221								5.694

Continuación

Cuadro	usuarios	zona	Tipo de llamada						Tráfico
			Grupo		Individual + datos		Interconectada		
			PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	
	221								5.694
38	12	6	17	3.9	7	3.49	2	60	0.483
39	5	18	17	3.9	9	3.5	1	60	0.149
40	5	18	15	3.9	7	4	2	60	0.186
41	5	18	17	3.9	9	3.5	1	60	0.149
42	4	18	14	3.2	7	3.61	1	60	0.106
43	6	12	16	4	7	3.82	1	60	0.148
44	6	12	15	4	8	2.79	2	60	0.173
45	6	12	15	3.9	7	3.12	1	60	0.135
46	8	8	7	2.9	5	2.88	2	60	0.105
47	8	8	7	2.8	4	2.78	1	60	0.067
48	2	3	8	3.7	4	3.55	1	60	0.027
49	6	4	7	3.6	4	2.81	2	60	0.107
50	6	4	8	2.9	5	2.84	1	60	0.062
51	12	5	15	2.7	7	2.73	2	60	0.213
52	12	5	14	2.8	6	3.45	1	60	0.156
53	4	17	9	4.2	4	2.78	1	60	0.033
54	4	17	6	3.9	5	3.1	1	60	0.032
55	4	17	7	3.6	4	3.53	2	60	0.055
56	4	17	6	3.2	4	3.56	1	60	0.026
57	6	12	15	4.2	8	3.65	2	60	0.185
58	6	12	14	4.1	7	4	1	60	0.134
59	6	12	16	4	8	3.1	1	60	0.111
60	6	13	8	3.7	3	2.87	2	60	0.070
61	6	13	8	3.6	4	2.89	1	60	0.073
62	7	9	7	3.5	4	3.5	2	60	0.099
63	7	9	7	3.3	5	3.8	1	60	0.079
64	6	10	9	2.6	5	3.2	2	60	0.063
65	6	15	7	3.1	5	2.84	1	60	0.041
66	6	16	7	2.9	5	2.88	1	60	0.040
67	2	17	7	3.6	4	3.53	2	60	0.028
68	2	24	6	3.8	4	2.65	1	60	0.026
69	2	24	7	3.6	4	3.44	2	60	0.044
70	2	24	7	3.1	4	3.71	1	60	0.027
71	6	12	15	4	7	3.82	1	60	0.117
72	17	21	13	2.9	8	3.52	2	60	0.392
73	17	21	13	3.9	6	0.24	1	60	0.247
74	6	13	8	3.5	4	3.1	1	60	0.051
	456								9.930

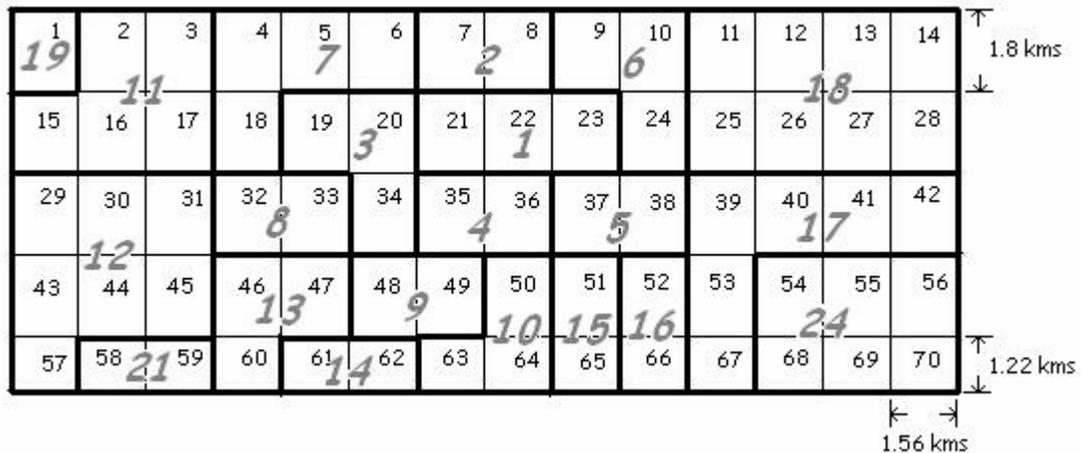
Continuación

Cuadro	usuarios	zona	Tipo de llamada						Tráfico
			Grupo		Individual + datos		Interconectada		
			PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	
	456								9.930
75	6	14	7	2.8	3	2.86	1	60	0.041
76	6	14	7	3.1	4	3.1	2	60	0.065
77	6	10	9	3.7	4	3.7	1	60	0.051
78	6	10	9	3.9	4	3.6	2	60	0.069
79	6	15	7	2.83	5	2.81	1	60	0.040
80	6	16	8	2.9	6	2.9	1	60	0.044
81	2	17	6	3.2	4	3.56	1	60	0.013
82	2	24	9	2.75	5	3.25	2	60	0.045
83	2	24	7	3.6	6	3.8	1	60	0.030
84	2	24	8	3.4	5	2.97	1	60	0.028
	<b>500</b>		<b>Total Erlangs</b>						<b>10.357</b>

**Estimación del tráfico en el sistema 911 con estándar Project 25**

La figura 13 muestra una división empírica de la cuadrícula de cobertura, relativo al mapa de la ciudad de Guatemala (véase figura 1). La tabla XIX presenta la distribución del tráfico en el sistema P25.

**Figura 13.** Cuadrícula de zona de cobertura sistema P25



**Tabla XIX.** Distribución de tráfico sistema P25

Cuadro	usuarios	zona	Tipo de llamada						Tráfico
			Grupo		Individual + datos		Interconectada		
			PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	
1	21	19	16	3.2	6	4.2	2	60	0.686
2	3	11	7	3.5	3	3.8	1	60	0.056
3	3	11	7	4.1	4	3.7	2	60	0.062
4	18	7	15	3.6	6	3.7	2	60	0.572
5	18	7	14	2.9	7	4.1	1	60	0.397
6	18	7	16	3.9	5	4	2	60	0.427
7	6	2	7	3.8	4	3.7	1	60	0.102
8	6	2	7	4	3	3.6	2	60	0.119
9	15	6	16	4	8	3.45	1	60	0.473
10	15	6	17	3.9	7	3.49	2	60	0.603
11	7	18	17	3.9	9	3.5	1	60	0.208
12	7	18	15	4.1	6	3.52	2	60	0.270
13	7	18	14	3.2	7	3.61	1	60	0.186
14	7	18	16	3.3	7	3.84	2	60	0.268
15	3	11	8	3	4	3.8	2	60	0.091
16	3	11	6	3.5	3	3.5	1	60	0.038
17	3	11	7	3.2	4	4.05	1	60	0.057
18	18	7	10	4.1	5	4.02	1	60	0.385
19	4	3	7	4.2	3	4.1	1	60	0.068
20	4	3	5	4	4	3.58	2	60	0.095
21	7	1	10	4.2	5	3.54	1	60	0.146
22	7	1	8	4.1	4	3.69	1	60	0.059
23	7	1	9	3.8	6	3.76	2	60	0.109
24	15	6	13	3.9	3	3.64	1	60	0.366
25	7	18	15	4.1	9	3.9	1	60	0.209
26	7	18	15	3.9	7	4	2	60	0.260
27	7	18	16	4	7	4	1	60	0.211
28	7	18	14	4.1	8	3.62	1	60	0.209
29	6	12	16	4	7	3.82	1	60	0.148
30	6	12	15	4	8	2.79	2	60	0.173
31	6	12	15	3.9	7	3.12	1	60	0.135
32	8	8	7	2.9	5	2.88	2	60	0.105
33	8	8	7	2.8	4	2.78	1	60	0.067
34	4	3	8	3.7	4	3.55	1	60	0.053
35	6	4	7	3.6	4	2.81	2	60	0.107
	294								7.524

Continuación

Cuadro	usuarios	zona	Tipo de llamada						Tráfico
			Grupo		Individual + datos		Interconectada		
			PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	PTT / usuario	duración prom (s)	
	294								7.524
36	6	4	8	2.9	5	2.84	1	60	0.062
37	12	5	15	2.7	7	2.73	2	60	0.213
38	12	5	14	2.8	6	3.45	1	60	0.156
39	4	17	9	4.2	4	2.78	1	60	0.033
40	4	17	6	3.9	5	3.1	1	60	0.032
41	4	17	7	3.6	4	3.53	2	60	0.055
42	4	17	6	3.2	4	3.56	1	60	0.026
43	6	12	15	4.2	8	3.65	2	60	0.185
44	6	12	14	4.1	7	4	1	60	0.134
45	6	12	16	4	8	3.1	1	60	0.111
46	6	13	8	3.7	3	2.87	2	60	0.070
47	6	13	8	3.6	4	2.89	1	60	0.073
48	7	9	7	3.5	4	3.5	2	60	0.099
49	7	9	7	3.3	5	3.8	1	60	0.079
50	6	10	9	2.6	5	3.2	2	60	0.063
51	6	15	7	3.1	5	2.84	1	60	0.041
52	6	16	7	2.9	5	2.88	1	60	0.040
53	2	17	6	3.2	4	3.56	1	60	0.013
54	2	24	6	3.8	4	2.65	1	60	0.026
55	2	24	7	3.6	4	3.44	2	60	0.044
56	2	24	7	3.1	4	3.71	1	60	0.027
57	6	12	15	4	7	3.82	1	60	0.117
58	17	21	13	2.9	8	3.52	2	60	0.392
59	17	21	13	3.9	6	0.24	1	60	0.247
60	6	13	8	3.5	4	3.1	1	60	0.051
61	6	14	7	2.8	3	2.86	1	60	0.041
62	6	14	7	3.1	4	3.1	2	60	0.065
63	6	10	9	3.7	4	3.7	1	60	0.051
64	6	10	9	3.9	4	3.6	2	60	0.069
65	6	15	7	2.83	5	2.81	1	60	0.040
66	6	16	8	2.9	6	2.9	1	60	0.044
67	2	17	7	3.6	4	3.53	2	60	0.028
68	2	24	9	2.75	5	3.25	2	60	0.045
69	2	24	7	3.6	6	3.8	1	60	0.030
70	2	24	8	3.4	5	2.97	1	60	0.028
	<b>500</b>		<b>Total Erlangs</b>						<b>10.352</b>

## División de frecuencias

Las bandas de frecuencias 417.000 – 418.500 y 427.000 – 428.500 se dividen en canalizaciones de 25 Khz, con una separación de transmisor y receptor de 10 Mhz. La división se muestra en la tabla XX.

**Tabla XX.** División de frecuencias

Canal	1	7	13	19	25	31	37	43	49	55
Base Rx	417.025	417.175	417.325	417.475	417.625	417.775	417.925	418.075	418.225	418.375
Base Tx	427.025	427.175	427.325	427.475	427.625	427.775	427.925	428.075	428.225	428.375
Grupo 1										

Canal	2	8	14	20	26	32	38	44	50	56
Base Rx	417.050	417.200	417.350	417.500	417.650	417.800	417.950	418.100	418.250	418.400
Base Tx	427.050	427.200	427.350	427.500	427.650	427.800	427.950	428.100	428.250	428.400
Grupo 2										

Canal	3	9	15	21	27	33	39	45	51	57
Base Rx	417.075	417.225	417.375	417.525	417.675	417.825	417.975	418.125	418.275	418.425
Base Tx	427.075	427.225	427.375	427.525	427.675	427.825	427.975	428.125	428.275	428.425
Grupo 3										

Canal	4	10	16	22	28	34	40	46	52	58
Base Rx	417.100	417.250	417.400	417.550	417.700	417.850	418.000	418.150	418.300	418.450
Base Tx	427.100	427.250	427.400	427.550	427.700	427.850	428.000	428.150	428.300	428.450
Grupo 4										

Canal	5	11	17	23	29	35	41	47	53	59
Base Rx	417.125	417.275	417.425	417.575	417.725	417.875	418.025	418.175	418.325	418.475
Base Tx	427.125	427.275	427.425	427.575	427.725	427.875	428.025	428.175	428.325	428.475
Grupo 5										

Canal	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Base Rx	417.150	417.300	417.450	417.600	417.750	417.900	418.050	418.200	418.350	418.500
Base Tx	427.150	427.300	427.450	427.600	427.750	427.900	428.050	428.200	428.350	428.500
Grupo 6										

# ANEXOS

**Tabla XXI.** Tabulación de datos erlang C

N/B	Maximum Offered Load Versus B and N											
	B is in %											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0100	.0200	.0500	.1000	.1500	.2000	.3000	.4000
2	.0142	.0319	.0452	.1025	.1465	.2103	.3422	.5000	.6278	.7403	.9390	1.117
3	.0860	.1490	.1894	.3339	.4291	.5545	.7876	1.040	1.231	1.393	1.667	1.903
4	.2310	.3533	.4257	.6641	.8100	.9939	1.319	1.653	1.899	2.102	2.440	2.725
5	.4428	.6289	.7342	1.065	1.259	1.497	1.905	2.313	2.607	2.847	3.241	3.569
6	.7110	.9616	1.099	1.519	1.758	2.047	2.532	3.007	3.344	3.617	4.062	4.428
7	1.026	1.341	1.510	2.014	2.297	2.633	3.188	3.725	4.103	4.406	4.897	5.298
8	1.382	1.758	1.958	2.543	2.866	3.246	3.869	4.463	4.878	5.210	5.744	6.178
9	1.771	2.208	2.436	3.100	3.460	3.883	4.569	5.218	5.668	6.027	6.600	7.065
10	2.189	2.685	2.942	3.679	4.077	4.540	5.285	5.986	6.469	6.853	7.465	7.959
11	2.634	3.186	3.470	4.279	4.712	5.213	6.015	6.765	7.280	7.688	8.336	8.857
12	3.100	3.708	4.018	4.896	5.363	5.901	6.758	7.554	8.099	8.530	9.212	9.761
13	3.587	4.248	4.584	5.529	6.028	6.602	7.511	8.352	8.926	9.379	10.09	10.67
14	4.092	4.805	5.166	6.175	6.705	7.313	8.273	9.158	9.760	10.23	10.98	11.58
15	4.614	5.377	5.762	6.833	7.394	8.035	9.044	9.970	10.60	11.09	11.87	12.49
16	5.150	5.962	6.371	7.502	8.093	8.766	9.822	10.79	11.44	11.96	12.77	13.41
17	5.699	6.560	6.991	8.182	8.801	9.505	10.61	11.61	12.29	12.83	13.66	14.33
18	6.261	7.169	7.622	8.871	9.518	10.25	11.40	12.44	13.15	13.70	14.56	15.25
19	6.835	7.788	8.263	9.568	10.24	11.01	12.20	13.28	14.01	14.58	15.47	16.18
20	7.419	8.417	8.914	10.27	10.97	11.77	13.00	14.12	14.87	15.45	16.37	17.10
21	8.013	9.055	9.572	10.99	11.71	12.53	13.81	14.96	15.73	16.34	17.28	18.03
22	8.616	9.702	10.24	11.70	12.46	13.30	14.62	15.81	16.60	17.22	18.19	18.96
23	9.228	10.36	10.91	12.43	13.21	14.08	15.43	16.65	17.47	18.11	19.10	19.89
24	9.848	11.02	11.59	13.16	13.96	14.86	16.25	17.51	18.35	19.00	20.02	20.82
25	10.48	11.69	12.28	13.90	14.72	15.65	17.08	18.36	19.22	19.89	20.93	21.76
26	11.11	12.36	12.97	14.64	15.49	16.44	17.91	19.22	20.10	20.79	21.85	22.69
27	11.75	13.04	13.67	15.38	16.26	17.23	18.74	20.08	20.98	21.68	22.77	23.63
28	12.40	13.73	14.38	16.14	17.03	18.03	19.57	20.95	21.87	22.58	23.69	24.57
29	13.05	14.42	15.09	16.89	17.81	18.83	20.41	21.82	22.75	23.48	24.61	25.50
30	13.71	15.12	15.80	17.65	18.59	19.64	21.25	22.68	23.64	24.38	25.54	26.44
31	14.38	15.82	16.52	18.42	19.37	20.45	22.09	23.56	24.53	25.29	26.46	27.38
32	15.05	16.53	17.25	19.18	20.16	21.26	22.93	24.43	25.42	26.19	27.39	28.33
33	15.72	17.24	17.97	19.95	20.95	22.07	23.78	25.30	26.32	27.10	28.31	29.27
34	16.40	17.95	18.71	20.73	21.75	22.89	24.63	26.18	27.21	28.01	29.24	30.21
35	17.09	18.67	19.44	21.51	22.55	23.71	25.48	27.06	28.11	28.92	30.17	31.16
36	17.78	19.39	20.18	22.29	23.35	24.53	26.34	27.94	29.00	29.83	31.10	32.10
37	18.47	20.12	20.92	23.07	24.15	25.36	27.19	28.82	29.90	30.74	32.03	33.05
38	19.17	20.85	21.67	23.86	24.96	26.18	28.05	29.71	30.80	31.65	32.97	34.00
39	19.87	21.59	22.42	24.65	25.77	27.01	28.91	30.59	31.71	32.57	33.90	34.94
40	20.58	22.33	23.17	25.44	26.58	27.84	29.77	31.48	32.61	33.48	34.83	35.89
41	21.28	23.07	23.93	26.23	27.39	28.68	30.63	32.37	33.51	34.40	35.77	36.84
42	22.00	23.81	24.69	27.03	28.21	29.51	31.50	33.26	34.42	35.32	36.70	37.79
43	22.71	24.56	25.45	27.83	29.02	30.35	32.36	34.15	35.33	36.23	37.64	38.74

Fuente: Dan Dexter. Erlang tables. Página 4.