

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO DE UN SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN UTILIZANDO TECNOLOGÍA TDMA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

PAULINA FERNANDA CHIPANTAXI BASANTES
paulina.chipantaxi@gmail.com

DIRECTOR: ING. FRANCISCO CEVALLOS
fcz@hotmail.com

Quito, Septiembre 2009

DECLARACIÓN

Yo, Paulina Fernanda Chipantaxi Basantes, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**Paulina Fernanda
Chipantaxi Basantes**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paulina Fernanda Chipantaxi Basantes, bajo mi supervisión.

Ing. Francisco Cevallos
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Este trabajo ha sido el fruto de muchos sacrificios y apoyo de alguien que siempre está a mi lado y que forma silenciosa me ha dado fuerza para seguir adelante, dedico mi esfuerzo a mi Mami, que siempre me ha tenido y sigue teniendo mucha paciencia.

Paulina

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y principalmente a Mami, que ha apoyado mis ideas y decisiones, para alcanzar mis metas.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	1
1.1 SISTEMA COMUNAL	1
1.2 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA COMUNAL	2
1.2.1 ESTACIÓN FIJA.	2
1.2.2 ESTACIÓN MÓVIL.....	3
1.2.3 EQUIPOS DE CONTROL.....	4
1.3 ESTACIÓN DE CONTROL.....	4
1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS COMUNALES DE EXPLOTACIÓN.	5
1.4.1 BANDAS ASIGNADAS.....	6
1.4.2 CANALIZACIÓN.....	7
1.4.3 MODALIDAD DE EXPLOTACIÓN.	7
1.4.4 EXPLOTACIÓN SIMPLEX DE UNA FRECUENCIA.	8
1.4.5 EXPLOTACIÓN SIMPLEX A DOS FRECUENCIAS.	8
1.5 CONFORMACIÓN DE GRUPOS DE TRABAJO.	10
1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	11
1.7 REQUISITOS PARA LA CONCESIÓN DE FRECUENCIAS	12
CAPÍTULO 2.....	13
2.1 INTRODUCCIÓN	13
2.2 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA	13
2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL FDMA.	14
2.2.2 DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.....	15
2.3 ELEMENTOS DE UN SISTEMA COMUNAL ANALÓGICO	15
2.3.1 ESTACIÓN REPETIDORA.	15
2.3.2 ESTACIÓN BASE.....	29
2.3.3 ESTACIÓN MÓVIL.....	29
2.3.4 ESTACIÓN PORTÁTIL	32
2.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN ANALÓGICO.	33
2.5 APLICACIONES ACTUALES.....	33
2.6 AMPLIACIÓN DE SERVICIOS DEL SISTEMA COMUNAL.....	34
2.7 NORMA TÉCNICA PARA SISTEMAS COMUNALES	35
2.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE ABONADOS DEL SISTEMA ANALÓGICO.	36
2.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	39
CAPÍTULO 3.....	41
3.1 INTRODUCCIÓN.	41
3.2 COBERTURA DEL AUDIO DIGITAL	43
3.3 INTEGRACIÓN DE SERVICIOS.	45
3.4 ELEMENTOS DE UN SISTEMA COMUNAL DIGITAL.....	46
3.4.1 ESTACIÓN REPETIDORA.	47
3.4.2 RADIO MÓVIL DIGITAL.....	47

3.5	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN DIGITAL.....	48
3.6	APLICACIONES.....	48
3.7	CAPACIDAD DE ABONADOS DEL SISTEMA ANALÓGICO.....	49
3.8	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN DIGITAL.....	53
CAPÍTULO 4.....	56	
4.1	DISEÑO DE UN SISTEMA COMUNAL DIGITAL.....	56
4.2	ÁREA DE COBERTURA.....	56
4.3	CÁLCULO DE LA ALTURA EFECTIVA DE ANTENA.....	57
4.4	CÁLCULO DEL ÁREA DE COBERTURA.....	60
4.5	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.....	62
4.5.1	INTENSIDAD DE CAMPO MÍNIMO UTILIZABLE.....	62
4.5.2	POTENCIA A PROTEGER.....	62
4.5.3	CÁLCULO DE LA POTENCIA EFECTIVA RADIADA. (PER).....	63
4.6	CÁLCULO TEÓRICO DE COBERTURA PARA UN SISTEMA COMUNAL DIGITAL.....	63
4.7	CONSIDERACIONES TÉCNICAS.....	65
4.7.1	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	65
4.7.2	IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN REPETIDORA.....	66
4.7.3	ESTACIÓN FIJA.....	69
4.8	CÁLCULO DE PERFILES Y ÁREA DE COBERTURA PARA EL CERRO PICHINCHA.....	70
4.8.1	PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO TEÓRICO DEL ÁREA DE COBERTURA.....	73
4.8.2	CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA.....	74
4.8.3	RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA.....	76
4.8.4	DETERMINACIÓN DE RESTRICCIONES PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DE COBERTURA.....	77
4.8.5	CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE COBERTURA EN EL RADIAL DE 0º.....	78
4.8.6	RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS DISTANCIAS DE COBERTURA POR RADIAL DEL SISTEMA	79
4.8.7	GRÁFICO DEL ÁREA DE COBERTURA.....	80
4.8.8	ENLACE REPETIDOR – ESTACIÓN FIJA.....	81
4.9	CONCLUSIONES.....	88
4.10	RECOMENDACIONES.....	90
4.11	BIBLIOGRAFÍA.....	91

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A TONOS ANALÓGICOS Y DIGITALES	94
ANEXO B REQUISITOS PARA LA CONCESIÓN DE FRECUENCIAS.....	97
ANEXO C NORMA TÉCNICA PARA SISTEMAS COMUNALES	103
ANEXO D INSTRUCTIVO RNI, DE LA SECRETARIA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.....	104
ANEXO E PERFILES TOPOGRÁFICOS.....	105
ANEXO F CATÁLOGOS.....	118
ANEXO G COSTOS DE EQUIPOS ANALÓGICOS Y DIGITALES	120

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN	2
FIGURA 1.2: UNIDAD DE RETRANSMISIÓN	3
FIGURA 1.3: ESTACIÓN MÓVIL	4
FIGURA 1.4: ESTACIÓN DE CONTROL	5
FIGURA 1.5: CANAL SIMPLEX UNA FRECUENCIA	8
FIGURA 1.6: CANAL SIMPLEX DOS FRECUENCIAS	9
FIGURA 1.7: CANAL SEMIDÚPLEX.....	10
FIGURA 1.8: SISTEMA DÚPLEX.....	10
FIGURA 1.9: CONFORMACIÓN DE GRUPOS.....	12
FIGURA 2.1: ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.....	15
FIGURA 2.2: DIVISIÓN POR DUPLEXACIÓN DE FRECUENCIA	16
FIGURA 2.3: LÍNEA DESBALANCEADA	22
FIGURA 2.4: ESTACIÓN BASE	30
FIGURA 2.5: ESTACIÓN MÓVIL	30
FIGURA 2.6: ANTENA MONOPLO.....	31
FIGURA 2.7: MONOPOLO CORTO CON INDUCTANCIA	32
FIGURA 2.8: MONOPOLO CORTO CON INDUCTANCIA EN LOS PUNTOS DE ALIMENTACIÓN	32
FIGURA 2.9: ESTACIÓN PORTÁTIL.....	33
FIGURA 3.1: ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO.	42
FIGURA 3.2: COMUNICACIÓN CON RANURAS DE TIEMPO.....	43
FIGURA 3.3: DIGITALIZACIÓN DEL AUDIO.	44
FIGURA 3.4: INTENSIDAD DE SEÑAL VS CALIDAD DE AUDIO	45
FIGURA 3.5: CALIDAD DE AUDIO ANALÓGICO – DIGITAL	46
FIGURA 3.6: INTEGRACIÓN DE SERVICIOS	47
FIGURA 3.7: CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD DE LOS SISTEMAS	54
FIGURA 4.1 ÁREA DE COBERTURA.....	82

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: BANDA DE FRECUENCIAS	6
TABLA 1.2: CARACTERÍSTICAS DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS.....	7
TABLA 2.1: FACTORES DE VELOCIDAD	25
TABLA 2.2: CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES CABLES COAXIALES	27
TABLA 2.3: TIPOS DE CONECTORES DE RADIO FRECUENCIA	28
TABLA 2.4: CARACTERÍSTICAS DE CONECTORES.....	29
TABLA 2.5: CÁLCULO DEL GRADO DE SERVICIO PARA	40
TABLA 3.1: CÁLCULO DEL GRADO DE SERVICIO.....	54
TABLA 4.1: ALTURA CORREGIDA DE LOS PERFILES DE LOS TOPOGRÁFICOS DEL CERRO PICHINCHA	74
TABLA 4.1: CORRECCIÓN PERFIL 0º FACTOR $K=4/3$	72
TABLA 4.2: DATOS PARA EL ENLACE TTRANSMISOR - ESTACION FIJA.....	84

PRESENTACIÓN

El presente proyecto recopila y analiza información sobre los Sistemas Comunales de Explotación, su funcionamiento, operación, normas y reglamentos que los rigen, para que de esta forma la información obtenida permita el diseño de un Sistema Comunal de Explotación Digital.

Estos sistemas permiten el intercambio de información entre estaciones fijas y móviles que se encuentren dentro del área de cobertura.

Los Sistemas Comunales son muy utilizados para las comunicaciones que requieran conformación de grupos de trabajo, como empresas de transporte, floricultura, operadoras de turismo, protección civil, etc.

La utilización de tecnologías FDMA y TDMA, hacen una gran diferencia en cuanto a la calidad y cantidad de servicios que ofrecen los Sistemas Comunales de Explotación Analógicos y Digitales.

Con la recopilación de información y análisis de la misma se realizó el diseño de un Sistema Comunal de Explotación Digital, considerando el área a la que se desea servir, equipos que se requieren, elementos de cálculo, conclusiones y recomendaciones sobre el diseño.

RESUMEN

El contenido de este proyecto ha sido estructurado a partir de un trabajo de investigación y consta de cuatro capítulos, los cuales se encuentran detallados a continuación:

El **capítulo I**, presenta la definición, conformación y operación de un sistema de radiocomunicaciones de cobertura local denominado Sistema Comunal de Explotación. En él se pretende justificar la relevancia del tema.

El contenido del **capítulo II**, expone el funcionamiento, operación, normas y reglamentos que rigen un Sistema Comunal de Explotación Analógico, que trabaja con tecnología FDMA.

En el **capítulo III** se describen las características técnicas y de funcionamiento, operación, aplicaciones, servicios, ventajas y desventajas que ofrece un Sistema Comunal de Explotación Digital.

El diseño de un Sistema Comunal de Explotación Digital, los resultados finales, las conclusiones y recomendaciones se exponen en el **capítulo IV**, es en este capítulo que analiza el área a la que desea dar servicio, características técnicas de los equipos y cálculos.

CAPÍTULO 1.

1.1 SISTEMA COMUNAL ¹

“Sistema Comunal de los Servicios Fijo y Móvil terrestre, es el conjunto de estaciones de radiocomunicación utilizadas por una personal natural o jurídica, que comparte en el tiempo un canal radioeléctrico para establecer comunicaciones entre sus estaciones de abonado. Son sistemas especiales de explotación.”

Un Sistema Comunal de Explotación es un sistema de radiocomunicación, de cobertura zonal, en el cual sus terminales pueden estar ubicados en cualquier punto del área de cobertura; además es capaz de manejar varios grupos de trabajo por un mismo radio canal, diferenciando y manteniendo la privacidad entre ellos por medio de la utilización de tonos subaudibles.

El costo por uso del canal es independiente del tiempo aire, por tal motivo resulta económicamente atractivo para aquellas empresas que requieren de comunicación constante.

Los sectores productivos hacia los cuales se encuentran orientados estos sistemas de comunicación son cooperativas de transporte, empresas de seguridad, florícolas, operadoras de turismo, etc., ya que para su adecuado funcionamiento requieren mantener comunicación constantemente entre su personal.

Estos sectores pueden acceder a este tipo de comunicaciones arrendando las frecuencias y equipos, por tiempo y cobertura determinados.

¹Reglamento y Norma Técnica para los Sistemas Comunales de Explotación. Título I. Capítulo I Artículo.
Resolución No. 265-13-CONATEL-2000

Este tipo de servicios son ofrecidos por empresas de comunicación que poseen sistemas comunales de explotación que crean grupos de trabajo en sus sistemas.

1.2 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA COMUNAL.

Un Sistema Comunal de Explotación en general está conformado de la siguiente manera, como se puede observar en la figura 1.1:

Estaciones fijas.

Estaciones móviles.

Equipos de Control.

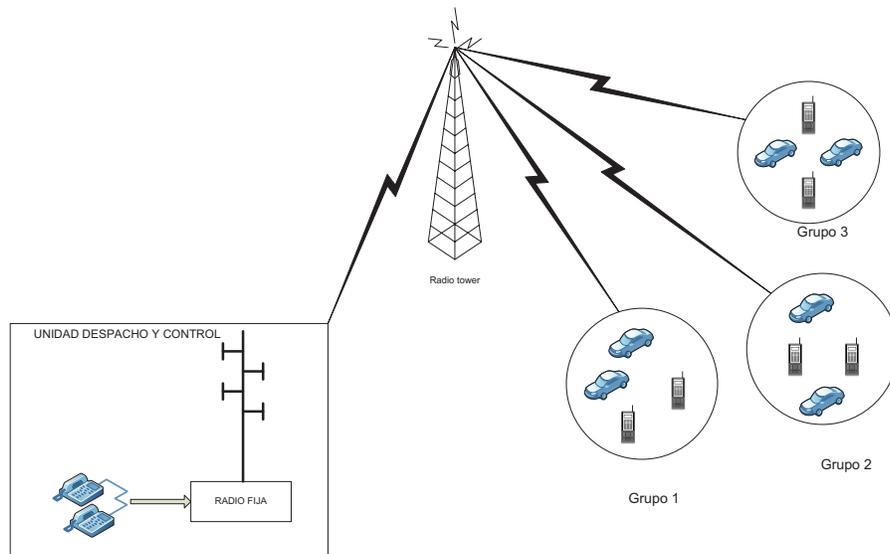


FIGURA 1.1: SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN

1.2.1 ESTACIÓN FIJA.

Una estación fija, es una estación radioeléctrica diseñada para operar en un lugar fijo.

Existen dos tipos de estaciones fijas:

a) Estación base.

Una estación base es una estación radioeléctrica fija, que trabaja de forma directa con la estación de control.

b) Estación repetidora.

Una estación repetidora es una estación fija radioeléctrica, que retransmite señales. Ubicada generalmente en un lugar elevado, determinando una área de cobertura.

Está formada por un repetidor, un controlador de tonos, un duplexor y una antena receptora/transmisora, como se detalla en la figura 1.2.

La estación repetidora sirve como medio de enlace entre las diferentes que conforman el sistema de comunicaciones.

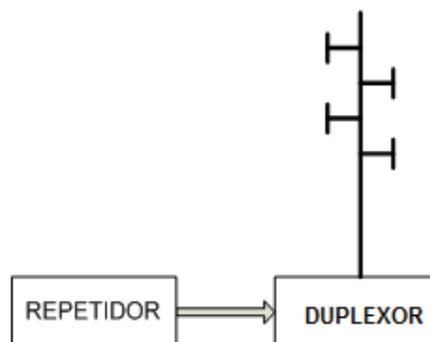


FIGURA 1.2: UNIDAD DE RETRANSMISIÓN.

1.2.2 ESTACIÓN MÓVIL

Es una estación radioeléctrica, diseñada para trabajar en movimiento, en un vehículo o como equipo de mano, como se muestra en la figura 1.3.

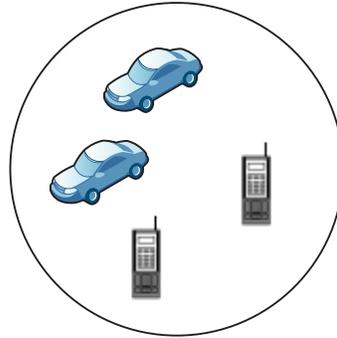


FIGURA 1.3: ESTACIÓN MÓVIL

1.2.3 EQUIPOS DE CONTROL.

Son equipos necesarios para realizar el control de la estación base, ubicación e identificación de móviles, señalización de canales, etc.

1.3 ESTACIÓN DE CONTROL.

Una estación de control al igual que una estación base también es una estación radioeléctrica fija, cuya función es controlar automáticamente las operaciones de otra estación de radio.

Una estación de control está constituida por una red telefónica, una estación base y un computador, generalmente ubicados en las instalaciones de la empresa proveedora del servicio, conforme se muestra en la figura 1.4.

Esta unidad es operada por una persona que entre sus principales funciones están:

- Realizar el control y despacho de solicitudes de servicios por parte de los usuarios.
- Operar el sistema de telefonía y demás el equipo de radiocomunicación que enlaza la Central y las estaciones móviles.

- Establecer y programar los códigos de comunicación, asegurando su correcta interpretación y aplicación en las comunicaciones del servicio.
- Establecer los comunicados necesarios para coordinar el trabajo a efectuarse.
- Verificar que se cumplan con los servicios requeridos por los usuarios.
- Estar pendiente del desplazamiento de las unidades móviles.

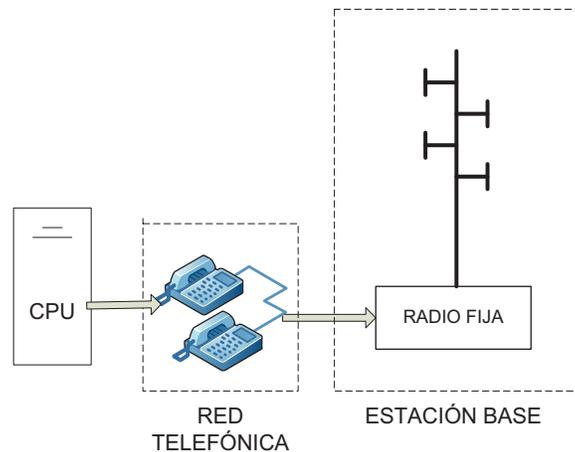


FIGURA 1.4: ESTACIÓN DE CONTROL

1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS COMUNALES DE EXPLOTACIÓN.

Los sistemas comunales se pueden clasificar según:

Las bandas de frecuencias utilizadas:

- VHF
- UHF

La modalidad de explotación

- Simplex
- Semidúplex
- Dúplex

1.4.1 BANDAS ASIGNADAS

La asignación de frecuencias de sistemas comunales de explotación consta en el artículo 1 del Reglamento y Norma Técnica para los Sistemas Comunales de Explotación, y establece lo siguiente:

“Art. 1.- Banda de Frecuencias.² - En razón de que los equipos utilizados tienen las mismas características técnicas que los Sistemas Convencionales y los Sistemas Buscapersonas, los Sistemas Comunales operarán en bandas en forma compartida, según la siguiente distribución” tabla 1.1.

BANDA	RANGO(MHz)
VHF	138 – 144 148 – 174
UHF	450 – 500

TABLA 1.1: BANDA DE FRECUENCIAS.

Cada banda de frecuencia muestra diferentes características, en un sistema, las cuales se detallan a continuación, en la tabla 1.2.

²Reglamento y Norma Técnica para los Sistemas Comunales de Explotación. Título I. Capítulo I Artículo. Resolución No. 265-13-CONATEL-2000

Características	Banda	
	VHF (alta)	UHF (baja)
Utilización típica	Rural/Urbana	Urbana
Penetración	Media	Alta
Pérdida vegetación	Media	Alta
Multitrayecto	Apreciable	Pronunciado
Interferencia sobrealcance	Media	Baja
Ruido ambiente	Medio	Bajo
Tamaño antenas	Medio	Pequeño
Ganancia antenas	Medio	Alta
Coste de equipos	Medio	Medio/alto
Canalización [KHz]	12.5	12.5
Alcance típico (base móvil) ($h_{base}=30m$, $P=20 w$)	20 Km	10 Km

TABLA 1.2: CARACTERÍSTICAS DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS.

1.4.2 CANALIZACIÓN³

“El ancho de banda de cada canal radioeléctrico es de 12,5 kHz y la separación entre frecuencia de transmisión y recepción es de 5 MHz para la banda de 450 – 482 MHz y 6 MHz para la banda 488 - 500 MHz. Para la banda de VHF la separación mínima entre transmisión y recepción es de 600 kHz”.

1.4.3 MODALIDAD DE EXPLOTACIÓN.

Los canales radioeléctricos pueden tener las siguientes modalidades de explotación:

- Simplex
- Semidúplex
- Dúplex

³ Reglamento y Norma Técnica para los Sistemas Comunales de Explotación. Título II. Capítulo I Artículo 2. Resolución No. 265-13-CONATEL-2000

1.4.3.1 EXPLOTACIÓN SIMPLEX.

Modo de explotación que permite transmitir alternativamente, en uno u otro sentido del canal de telecomunicación.

Puede existir modalidad simplex de una sola frecuencia o dos frecuencias.

1.4.4 EXPLOTACIÓN SIMPLEX DE UNA FRECUENCIA.

Los canales simplex emplean una sola frecuencia tanto para transmisión como para recepción, en forma secuencial, en un sentido a la vez, como se muestra en la figura 1.5⁴.

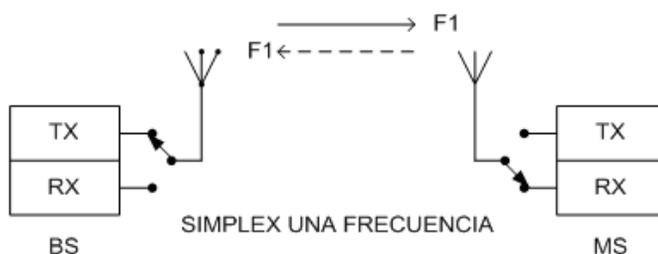


FIGURA 1.5: CANAL SIMPLEX UNA FRECUENCIA

1.4.5 EXPLOTACIÓN SIMPLEX A DOS FRECUENCIAS.

Se utilizan dos frecuencias con una separación de 4 o 5 MHz para evitar interferencias, de esta forma se pueden ubicar dos estaciones próximas entre sí, sin que se interfieran una con otra, ya que transmiten en la frecuencia alta y reciben en la frecuencia baja, como se muestra en la figura 1.6.

La desventaja de este tipo de canal es que las estaciones móviles no pueden comunicarse entre sí y solo pueden hacerlo con la base.

⁴ Plan Nacional de Frecuencias, Capítulo 1, Términos y Definiciones, términos referentes a explotación,

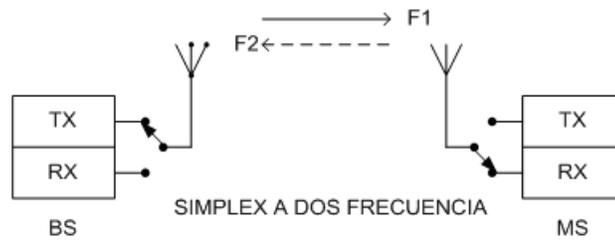


FIGURA 1.6: CANAL SIMPLEX DOS FRECUENCIAS

1.4.5.1 EXPLOTACIÓN SEMIDÚPLEX.

Modo de explotación simplex en un extremo del circuito de telecomunicación y de explotación dúplex en el otro⁵.

En este caso, la estación de base funciona en dúplex y las estaciones móviles funcionarán en simplex.

Las comunicaciones entre estaciones fijas y móviles se realizan a través del repetidor, el mismo que se activará cuando reciba una señal en f_2 y transmitirá en f_1 , empleando un duplexor.

Las estaciones fijas y móviles trabajan con frecuencias cruzadas, es decir, recibirá en f_1 y transmitirá en f_2 , tal como puede observarse en la figura 7.

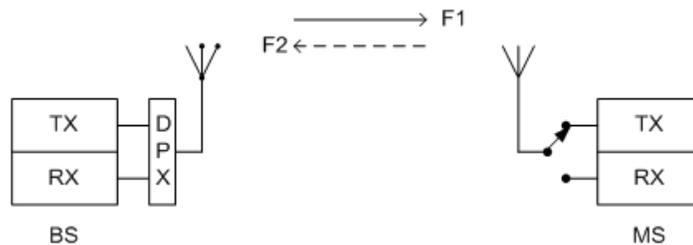


FIGURA 1.7: CANAL SEMIDÚPLEX

⁵ Plan Nacional de Frecuencias, Capítulo 1, Términos y Definiciones, términos referentes a explotación,

1.4.5.2 EXPLOTACIÓN DÚPLEX (FULL DÚPLEX)

Tanto la estación de base como las móviles disponen de duplexores para permitir la transmisión y recepción simultánea, se requiere de dos frecuencias para enlazar cada estación móvil con la estación de base, como se observa en la figura 1.8.

Este sistema es muy usado en sistemas telefónicos móviles y no es usado en sistemas de radiotelefonía móvil por el costo del duplexor en el móvil y la cantidad de frecuencias necesarias para su funcionamiento.

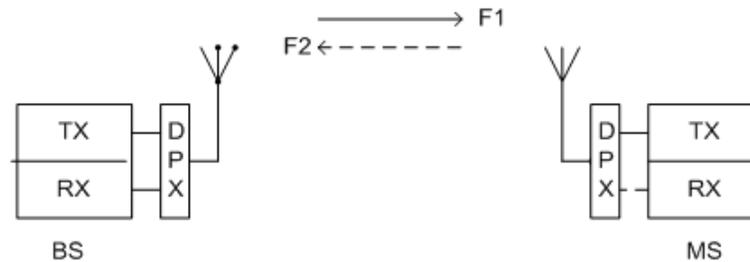


FIGURA 1.8: SISTEMA DÚPLEX

1.5 CONFORMACIÓN DE GRUPOS DE TRABAJO.

Entre las principales características de un Sistema Comunal de Explotación frente a otro tipo de sistemas de comunicaciones es la capacidad de crear grupos de trabajo, manteniendo la privacidad e independencia entre sus usuarios.

Cada grupo puede estar constituido por estaciones fijas, móviles y portátiles, como se muestra en la figura 1.9.

Los usuarios formarán parte de un grupo de trabajo del sistema, cada grupo estará identificado por un tono subaudible diferente, de tal forma que las llamadas que se hagan dentro del grupo no podrán ser escuchadas por los usuarios de otros grupos.

Los tonos subaudibles son señales puras de baja frecuencia que se envían junto con la voz y únicamente son decodificados por los equipos programados para

ello, es así como el receptor puede distinguir que señales pasan y cuáles no, dependiendo del código que lleven asignado.

Estos tonos están normalizados por la EIA⁶, que ha determinado dos tipos de tonos; analógicos y digitales. Los tonos analógicos son conocidos como CTCSS⁷ y los digitales como DCS⁸, ver anexo A

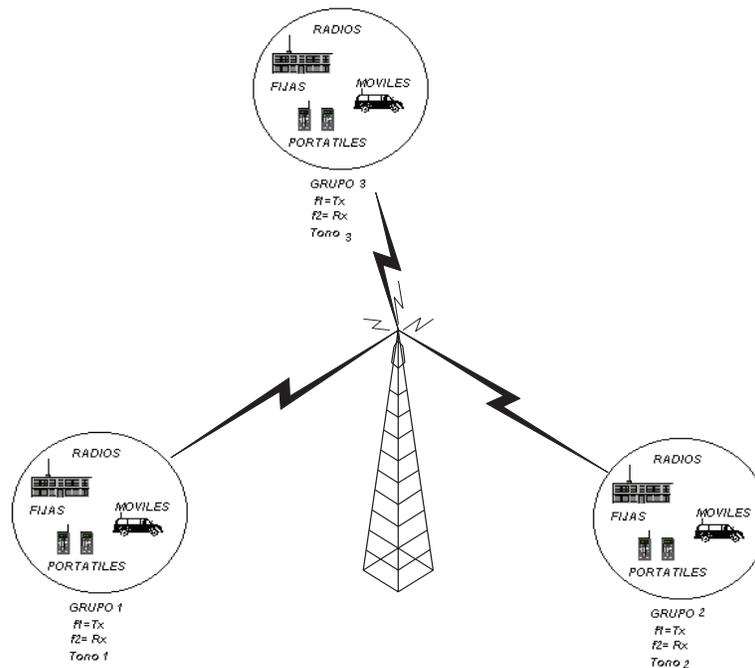


FIGURA 1.9: CONFORMACIÓN DE GRUPOS

1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

El Sistema Comunal de Explotación frente a otros sistemas de comunicaciones como la telefonía celular, tiene varias ventajas, entre las cuales se pueden considerar principalmente:

⁶ EIA: Electronic International Association o Asociación Internacional Electrónica

⁷ CTCSS: Continuous tone-coded squelch system o Sistema Silenciador Codificado por Tono Continuo.

⁸ DCS: Silenciadores Codificados Digitales

- Crear grupos de trabajo.
- Optimizar del espectro radioeléctrico al trabajar con las mismas frecuencias y diferentes tonos, manteniendo la privacidad.
- Reducir costos de comunicación, al dejar de pagar por una comunicación en tiempo aire.
- El costo de la comunicación es independiente del tiempo de uso o mensajes enviados (Buena relación Costo/Beneficio).
- Llamada selectiva.
- Llamada de grupo o flotillas.
- Mayor Eficiencia en las labores grupales.

Entre las desventajas que presentan los Sistemas Comunales se puede mencionar las siguientes:

- Debido al número de usuarios el acceso al canal requerirá de un cierto tiempo de espera.
- Al acceder al sistema de forma indisciplinada o no tener claro el uso correcto de los equipos se puede caotizar el sistema y tener una comunicación deficiente.

1.7 REQUISITOS PARA LA CONCESIÓN DE FRECUENCIAS ⁹

Previa la concesión de frecuencias comunales de explotación, el solicitante debe presentar en la **SECRETARIA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES** la información legal, financiera, técnica y técnica operativa, dependiendo si el concesionario es una persona natural o jurídica, como consta en el anexo B.

⁹ <http://www.conatel.gov.ec>

CAPÍTULO 2.

SISTEMAS COMUNALES ANALÓGICOS.

2.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha mencionado en el capítulo anterior las principales características que describen a un Sistema Comunal Analógico son el poder crear grupos de trabajo manteniendo la privacidad y optimizando el uso del espectro radioeléctrico, obteniendo una buena relación costo/beneficio al capacitar a los usuarios sobre el correcto uso de los equipos.

El tipo de tecnología que se emplea como método de acceso¹⁰ es la tecnología FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia).

2.2 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.

FDMA, asigna a los usuarios un conjunto limitado de canales ordenados en el dominio de la frecuencia, estos canales son asignados de acuerdo a la demanda.

Para acceder al canal de comunicación este debe estar libre. Ya que durante la transmisión analógica solo se puede realizar una transmisión por canal o frecuencia, como se muestra en la figura 2.1.

¹⁰ Otros modos de Acceso: TDMA, Acceso Múltiple por División de Tiempo, CDMA, Acceso Múltiple por Diferenciación de Código, DAMA, Acceso Múltiple por División de Frecuencia con Asignación por Demanda.

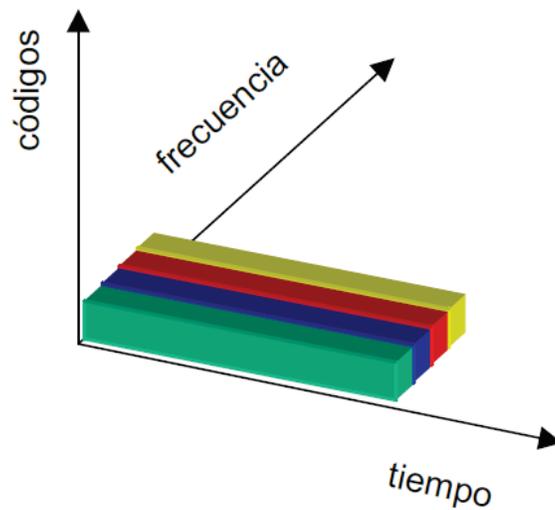


FIGURA 2.1: ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.

Generalmente el FDMA se combina con la duplexación por división de frecuencia o FDD.

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL FDMA.

- Una característica importante de los sistemas FDMA es que una vez que se asigna una frecuencia a un usuario, ésta es usada exclusivamente por ese usuario.
- Los canales sin uso no pueden ser utilizados por otros para aumentar su ancho de banda.
- Transmisión en forma continua y simultanea.
- El FDMA utiliza un filtro de RF para minimizar la interferencia con canales adyacentes.
- Baja complejidad.

De acuerdo a las características antes mencionadas se requiere que el número de usuarios sea limitado y a su vez el tiempo de uso del canal sea corto evitando caotizar el sistema.

2.2.2 DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.

Para la utilización de este sistema de multiplexación se requiere de dos frecuencias de operación como se puede observar en la figura 2.2.



FIGURA 2.2: DIVISIÓN POR DUPLEXACIÓN DE FRECUENCIA.

Para el funcionamiento de sistemas que trabajan con duplexación por división de frecuencia, se requiere de dos frecuencias, la separación es constante, por lo que requiere del uso de filtros o duplexores para utilizar una sola antena y minimizar interferencia de canales adyacentes.

Estas frecuencias son utilizadas una para transmisión y otra para recepción.

2.3 ELEMENTOS DE UN SISTEMA COMUNAL ANALÓGICO.

Un sistema comunal analógico está constituido por: una estación repetidora, estaciones fijas, móviles y portátiles.

2.3.1 ESTACIÓN REPETIDORA.

Para poner en funcionamiento una estación repetidora, es necesario que tenga los siguientes elementos:

- Antena.
- Duplexor.

- Sistema de alimentación.
- Líneas de transmisión.
- Conectores de radiofrecuencia.

2.3.1.1 ANTENA.

Es un dispositivo que permite la radiación y la recepción de la radiofrecuencia en el espacio.

Una antena toma la señal del transmisor de radio y la envía al espacio; recibe las señales presentes en el espacio y la induce al receptor.

Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida.

Parámetros principales de una antena.

- a) Patrón de Radiación:** Es la representación gráfica de la magnitud relativa de los campos en el espacio.

- b) Ancho de Banda:** Es el rango de frecuencias a los cuales los parámetros de antena son similares a las que tendría si operara en la frecuencia central.

- c) Directividad:** se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica¹¹.

- d) Ganancia¹²:** Relación generalmente expresada en decibelios, que debe existir entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la

¹¹ Antena isotrópica radia energía en todas las direcciones, en el espacio entero.

¹² Plan Nacional de Frecuencias, Capítulo 1, Términos y Definiciones, términos referentes a explotación,

antena en cuestión, para que ambas antenas produzcan, en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma intensidad de flujo de potencia, a la misma distancia. Salvo que se indique lo contrario, la ganancia se refiere a la dirección máxima radiación de la antena. Eventualmente puede tomarse en consideración la ganancia de una polarización especificada.

Según la antena de referencia elegida se distingue entre:

- i) La ganancia isotrópica absoluta (G_i), si la antena de referencia es una antena isotrópica aislada en el espacio.
 - ii) La ganancia con relación a un dipolo de media onda (G_d), si la antena de referencia es un dipolo de media onda aislado en el espacio y cuyo plano ecuatorial contiene la dirección dada.
 - iii) La ganancia con relación a una antena vertical corta (G_v), si la antena de referencia es un conductor rectilíneo mucho más corto que un cuarto de longitud de onda y perpendicular a la superficie de un plano perfectamente conductor que contiene la dirección dada.
- e) Impedancia de entrada.** Es la razón entre el voltaje y la corriente en los terminales de la antena. Aquí están representados las pérdidas propias del conductor y la resistencia a radiar de la antena al espacio libre. Además, la reactancia representa el campo reactivo de la antena producido por el campo cercano.
- f) Polarización:** Se le llama polarización de la antena a la polarización del campo eléctrico respecto a un plano de tierra dado, puede ser lineal, vertical o elíptica.
- g) Relación Delante/Atrás:** es la relación entre el lóbulo principal y el lóbulo posterior.

- h) Anchura del haz:** Es la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del diagrama de radiación del plano de la antena. Cuanto mayor la ganancia, menos es la apertura angular.

Tipos de antenas:

- a) Antena omnidireccional:** La energía radiada de la antena tiene una cobertura a de 360°, la energía se propaga en todas direcciones.
- b) Antena direccional:** una antena direccional o directiva, es una antena capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor o desde la fuente, evitando interferencias introducidas por fuentes no deseadas.

Entre las principales antenas directivas están:

- Dipolo.
- Reflector de esquina.
- Yagi.
- Quad.

2.3.1.2 DUPLEXOR.

Es un sistema de filtraje, el cual permite trabajar con una sola antena tanto para transmisión como para la recepción, siempre y cuando las frecuencias no se encuentren muy separadas.

Este dispositivo que permite que un emisor y un receptor funcionen acoplados simultáneamente a una misma antena. El duplexor deja la energía de

radiofrecuencia circular de la antena al receptor y del emisor a la antena, sin acoplamiento excesivo entre el receptor y el emisor.

2.3.1.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

El sistema de alimentación generalmente es la red pública que trabaja a 110 V, 60 Hz, tomando en cuenta que se debe tener un sistema de respaldo para que garantice la comunicación.

El sistema de energía de respaldo puede ser celdas fotovoltaicas o bancos de baterías.

2.3.1.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Una línea de transmisión es utilizada para dirigir la transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas.

Las características de una línea de transmisión se determinan por las propiedades eléctricas y físicas.

La resistencia y la inductancia varían a lo largo de la línea, mientras que entre los dos conductores varía la capacitancia y la conductancia.

Entre las principales características de una línea de transmisión están:

a) Impedancia característica.

Para una máxima transferencia de potencia, desde la fuente a la carga, una línea de transmisión debe terminarse en una carga puramente resistiva igual a la impedancia característica de la línea.

La impedancia característica se define como la impedancia que se ve desde una línea infinitamente larga o la impedancia que se ve desde el

largo finito de una línea que se determina en una carga totalmente resistiva igual a la impedancia característica de la línea.

b) Pérdidas en la línea de transmisión.

Existen varias formas de energía que se pierden en la línea de transmisión y son:

- Pérdidas en el conductor,
- Pérdidas por radiación por el calentamiento del dieléctrico
- Pérdida por acoplamiento.

Las líneas de transmisión de acuerdo a su sección transversal, se clasifican como líneas balanceadas y desbalanceadas.

a) Líneas balanceadas.

En la línea balanceada tanto el camino de ida como el de regreso están formados por conductores idénticos independientes.

Ambos conductores llevan una corriente; un conductor lleva la señal y el otro es el regreso. Este tipo de transmisión se llama transmisión de señal diferencial o balanceada. La señal que se propaga a lo largo del cable se mide como la diferencia potencial entre los dos cables.

b) Líneas desbalanceadas.

Están formadas por un cable en el que el retorno de la señal se produce a través de la malla exterior que cubre el conductor de ida, protegiéndolo contra interferencias electromagnéticas externas, como se muestra en la figura 2.3.

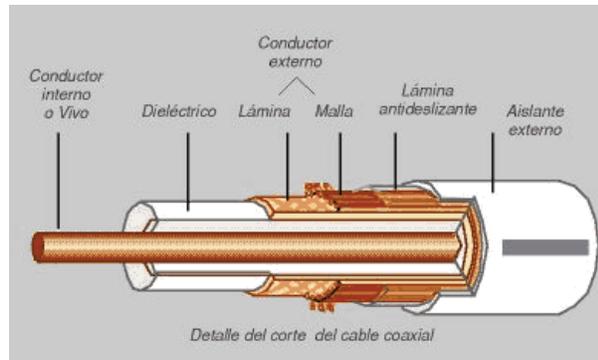


FIGURA 2.3: LÍNEA DESBALANCEADA.

En una línea de transmisión desbalanceada, un cable se encuentra a tierra, mientras que el otro cable se encuentra con un potencial de señal.

Con la transmisión de señal desbalanceada, el cable de tierra también puede ser la referencia a otros cables que llevan señales, a estas líneas de transmisión se las conoce como cable coaxial.

Los conductores coaxiales se utilizan extensamente, para aplicaciones de alta frecuencia, para reducir las pérdidas y para aislar las trayectorias de transmisión. El cable coaxial básico consiste de un conductor central rodeado por un conductor exterior concéntrico.

A frecuencias de operación relativamente altas, el conductor coaxial externo proporciona una excelente protección.

Además el conductor externo de un cable coaxial generalmente está unido a tierra, lo que limita su uso a las aplicaciones desbalanceadas.

Existen dos tipos de cables coaxiales:

a) Línea coaxial rígida de aire.

El conductor central está rodeado de forma coaxial por un conductor externo tubular y el material aislante es el aire. El conductor externo físicamente está aislado y separado del

conductor central por un espaciador, que generalmente está hecho de Pirex, polietileno, u otro material no conductivo.

Estos cables son relativamente caros en su fabricación, y el aislante de aire debe de estar relativamente libre de humedad para minimizar las pérdidas.

b) Línea coaxial sólida flexible.

El conductor externo estará trenzado, es flexible y coaxial al conductor central. El material aislante es un material de polietileno sólido no conductivo que proporciona soporte, así como aislamiento eléctrico entre el conductor interno y externo. El conductor interno es un cable de cobre flexible que puede ser sólido o hueco.

Los cables coaxiales son relativamente inmunes a la radiación externa.

La desventaja básica de las líneas de transmisión coaxial es que son caras y tienen que utilizarse en el modo desbalanceado.

Entre las principales características de los cables coaxiales están:

- Impedancia característica
- Factor de velocidad.
- Aislante dieléctrico.
- Tensión máxima rms.
- Capacitancia (F/m)
- Atenuación en (dB/m).

a) Impedancia característica (Z_0):

En un sistema que trabaja a máxima eficiencia, la impedancia del transmisor, la del receptor y la del cable deben ser iguales, de no

ser así se producirán reflexiones que degradarán el funcionamiento del sistema.

La impedancia característica no depende de la longitud del cable ni de la frecuencia. Los valores nominales para los cables coaxiales son 50, 75 y 93 Ohmios.

La impedancia característica del cable coaxial está dada por la siguiente expresión.

$$Z_c = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \left(\frac{D}{d} \right)$$

En donde:

D: Diámetro externo

d: diámetro interno

ϵ : Constante dieléctrica

b) Factor de velocidad.

El factor de velocidad varía con el tipo de material aislante como se muestra en la tabla 2.1, en función de su constante dieléctrica.

$$V_f = \frac{V_p}{c}$$

En donde:

Vf: Factor de velocidad.

Vp: Velocidad real de propagación.

c: Velocidad de propagación en el espacio libre.

$$c = 3 \times 10^8 [m/s]$$

Material	Factor de Velocidad
Aire	0,95 – 0,975
Hule	0,56 – 0,65
Polietileno	0,66
Espuma de polietileno	0,66
Teflón	0,70
Espuma de Teflón	0,82

TABLA 2.1: FACTORES DE VELOCIDAD

c) Aislante dieléctrico.

Los aislantes dieléctricos, generalmente son materiales no metálicos, con una alta resistividad, por lo que la corriente a través de ellos es muy débil.

Debido a esta característica se emplea estos materiales para separar el conector central y la malla, entre algunos de estos materiales están el aire, el polietileno, la espuma de polietileno, el teflón, la espuma de teflón, etc.

i. Aire.

El aire tiene una permeabilidad teórica de 1,00 (ϵ_r), esto permite que sea el mejor aislante después del vacío.

ii. Polietileno.

El polietileno es un material termoplástico derivado del petróleo, que se utiliza como aislante en la mayoría de los cables, tanto en coaxiales como multipares, debido a que tiene propiedades dieléctricas muy estables en un amplio rango de frecuencia y posee un bajo factor de pérdida.

El polietileno celular es una mezcla de polietileno sólido con implantación de burbujas de aire, y esto permite que el aislante sea más liviano y tenga una permeabilidad menor.

iii. Teflón

Teflón, se emplea para temperaturas entre $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, con constante dieléctrica de 2,1 y rigidez dieléctrica de 50 kV/mm.

d) Tensión máxima rms.

Es la máxima tensión entre el conductor externo e interno a la cual puede trabajar constantemente el cable sin que se generen interferencias y degradación irreversible del aislante.

Capacitancia (F/m)

El valor de la capacidad eléctrica, medida entre el conductor central y el conductor externo, dividida por la longitud del cable. Se trata de valores muy pequeños expresados en picofaradios por metro. Este valor varía con el tipo de material aislante y con la geometría del cable.

Atenuación en (dB/m).

Esta atenuación es la pérdida de potencia, a una determinada frecuencia, expresada generalmente en decibel por metro. Varía con el tipo de material empleado y con la geometría del cable, incrementándose al crecer la frecuencia.

Algunas de las características antes mencionadas se las puede observar en la tabla 2.2 que corresponde a los cables coaxiales comúnmente utilizados.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES COAXIALES									
Coaxial	Imp. Ω	Factor Veloc	Aislan. Dieléc.	Tensión Máx RMS	pF Por Metro	Atenuación en decibelios por cada 100 mts			
						400 Mhz	1 Ghz	3 Ghz	Diam. en mm
RG-5	50	0,66	Esp PE	-----	93,5	19,4	32,15	75,5	8,3
RG-6	75	0,66	Esp PE	-----	61,6	19,4	32,15	75,5	8,5
RG-8	52	0,66	PE	4.000	97	13,5	26,3	52,5	10,3
RG-9	51	0,66	PE	4.000	98	16,4	28,9	59	10,7
RG-10	52	0,66	-----	-----	100	13,5	26,3	52,5	12
RG-11	75	0,66	Esp PE	4.000	67	15,8	25,6	54	10,3
RG-12	75	0,66	PE	4.000	67	15,8	25,6	54	12
RG-13	74	0,66	-----	-----	67	15,8	25,6	54	10,7
RG-14	52	0,66	-----	-----	98,4	10,2	18	41	13,9
RG-17	52	0,66	PE	11.000	67	7,85	14,4	31,1	22,1
RG-18	52	0,66	-----	-----	100	7,85	14,4	31,1	24
RG-19	52	0,66	-----	-----	100	6,05	11,8	25,3	28,5
RG-20	52	0,66	-----	-----	100	6,05	11,8	25,3	30,4
RG-21	53	0,66	-----	-----	98	85,3	141	279	8,5
RG-34	75	0,66	-----	-----	67	10,8	19	52,5	15,9
RG-35	75	0,66	-----	-----	67	6,4	11,5	28,2	24
RG-55	53,5	0,66	PE	1.900	93	32,8	54,1	100	5,3
RG-58	50	0,66	PE	1.900	93	39,4	78,7	177	5
RG-59	73	0,66	PE	600	69	23	39,4	87	6,2
NOTAS		PE = Polietileno							
		Esp.PE = Espuma de Polietileno							

TABLA 2.2: CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES CABLES COAXIALES

2.3.1.5 CONECTORES DE RADIOFRECUENCIA.

Los conectores de radiofrecuencia proporcionan una forma rápida y fácil de conectar cables coaxiales entre sí y con otros dispositivos.

Todos los conectores están diseñados con distintas características de operación de acuerdo a sus aplicaciones, a continuación en la tabla 5, se muestran algunas características de varios conectores.

Cada conector coaxial está diseñado para trabajar específicamente con un cable coaxial y mantener el blindaje electromagnético que el cable coaxial puede ofrecer.

Entre los más utilizados están los conectores:

TIPO N	 The image shows the components of a Type N connector: a large, cylindrical, threaded female connector with a red insulator inside, a smaller cylindrical sleeve, and a small gold-colored pin.
BNC.	 The image shows a BNC connector, which is a cylindrical, threaded connector with a central pin and a locking nut.
MINI UHF	 The image shows a Mini UHF connector, which is a small, cylindrical, threaded connector with a central pin and a locking nut.
SMA	 The image shows the components of an SMA connector: a small, cylindrical, threaded female connector, a smaller cylindrical sleeve, and a small gold-colored pin.
TNC	 The image shows the components of a TNC connector: a large, cylindrical, threaded female connector with a central pin, a smaller cylindrical sleeve, and a small cylindrical pin.

TABLA 2.3: TIPOS DE CONECTORES DE RADIO FRECUENCIA

CONECTOR	TIPO N	TIPO N	TIPO BNC	TIPO BNC	TIPO MIN UHF	TIPO SMA	TIPO TNC	TIPO TNC
CARACTERISICA								
IMPEDANCIA (Ω)	50	75	50	75	50	50	50	75
RANGO DE FRECUENCIA	0 – 11GHz	0 –6GHz	max. 0...10 GHz opt. 0...4 GHz	max. 0...4 GHz opt. 0...1 GHz	0...2.5 GHz	0 - 18 GHz	max. 0...10 GHz opt. 0...4 GHz	0...4 GHz / 0...1.5 GHz
VSWR	≤ 1.10 typ.		≤ 1.20 typ			$\leq 1.1 + 0.02 \times f$ (GHz)		
PÉRDIDA DE INSERCIÓN	≤ 0.05 dB	≤ 0.1 Db	$\geq 0.1 \times \sqrt{f}$ (GHz) dB	$\leq 0.1 \times \sqrt{f}$ (GHz) dB	≤ 0.1 dB max., DC to 1 GHz	≤ 0.04 dB $\times \sqrt{f}$ (GHz) [dB]	$\leq 0.1 \times \sqrt{f}$ (GHz) dB	≤ 0.1 dB
RESIST. DE AISLAMIENTO	$\geq 5 \times 10^3$ M Ω	$\geq 5 \times 10^3$ M Ω	$\leq 5 \times 10^3$ M Ω	$\geq 5 \times 10^3$ M Ω	$\geq 5 \times 10^3$ M Ω	$\geq 5 \times 10^3$ M Ω	$\geq 5 \times 10^3$ M Ω	$\geq 5 \times 10^3$ M Ω
CENTRO RESIST. DE CONTACTO	≤ 1.0 m Ω	≤ 1.5 m Ω	≤ 1.5 m Ω	≤ 1.5 m Ω	≤ 3 m Ω	≤ 3 m Ω	≥ 1.5 m Ω	≥ 1.5 m Ω
RESIST. CONTACTO EXTERNO	≤ 0.25 m Ω	≤ 0.25 m Ω	≤ 1 m Ω	≤ 1 m Ω	≤ 5 m Ω	≤ 2 m Ω	≤ 1 m Ω	≤ 1 m Ω
PRUEBA DE VOLTAJE	2500 V rms	2500 V rms	1500 V rms	1500 V rms	1500 V rms	1000 V rms	1500 V rms	1500 V rms
VOLTAJE DE TRABAJO	1400 V rms	1400 V rms	400 V rms	400 V rms	335 V rms	480 V rms	500 V rms	500 V rms
POTENCIA	typ. 1000 W/10 GHz/VSWR 1.0 typ. 700 W/2 GHz/VSWR 1.0		≤ 80 W (2GHz)	≤ 80 W (2GHz)		≤ 200 W/2 GHz	≤ 80 W (2 GHz) typ	

TABLA 2.4: CARACTERÍSTICAS DE CONECTORES

2.3.2 ESTACIÓN BASE.

Una estación base está ubicada en puntos fijos dentro del área de cobertura, es de alta potencia y está constituida de acuerdo a como se muestra en la figura 2.4, por:

- Antena
- Fuente de alimentación.
- Líneas de transmisión.

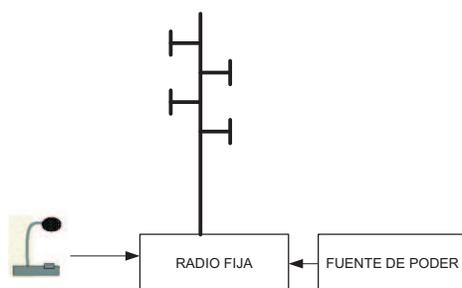


FIGURA 2.4: ESTACIÓN BASE

2.3.3 ESTACIÓN MÓVIL.

Se las conoce así por no permanecer en puntos fijos dentro del área de cobertura y están ubicadas en automóviles, está conformada de acuerdo a como se muestra en la figura 2.5, por:

- a) Antena móvil.
- b) Fuente de alimentación.
- c) Líneas de transmisión.

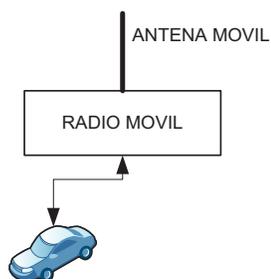


FIGURA 2.5: ESTACIÓN MÓVIL

a) **Antena móvil.**

Para las estaciones móviles regularmente se utilizan antenas tipo monopolo corto o comúnmente llamadas látigo.

De acuerdo a la longitud del monopolo existen dos clases de monopolos:

i. **Monopolo corto.**

En un monopolo corto las ondas electromagnéticas rebotan en el plano de tierra y simulan que provienen del dipolo inferior, como se puede observar en la figura 2.6.

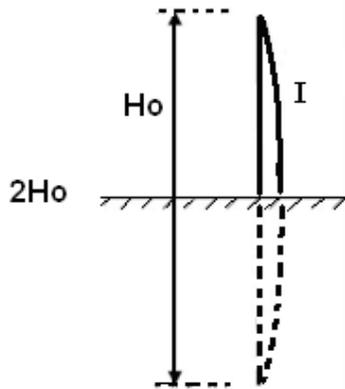


FIGURA 2.6: ANTENA MONOPLO

Un monopolo corto de altura H_o , es corto respecto a $1, 3, 5$, etc., cuartos de onda de la frecuencia de operación, la impedancia que se tiene en los puntos de alimentación tiene una componente capacitiva, la cual se puede eliminar mediante una inductancia ubicada en cualquier punto a lo largo del conductor, como se muestra en la figura 2.7.



FIGURA 2.7: MONOPOLO CORTO CON INDUCTANCIA

En la figura 2.8, se puede observar que en los puntos de alimentación se encuentra la inductancia, la cual se determina mediante la expresión Ec. 2.1.

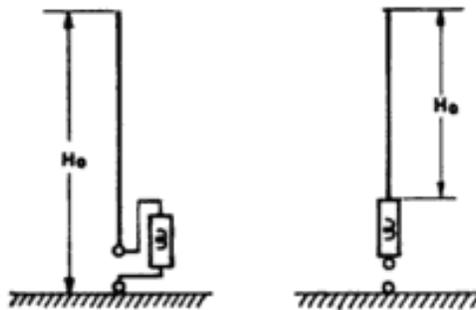


FIGURA 2.8: MONOPOLO CORTO CON INDUCTANCIA EN LOS PUNTOS DE ALIMENTACIÓN

$$L(\mu H) = \frac{\lambda}{1885} Z_0 * \cot g(\beta H) \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

- L: Inductancia.
- Z₀: Impedancia característica.
- β: Coeficiente de onda.
- H: Longitud del monopolo corto.

ii. Monopolo largo

Al igual monopolo corto, un monopolo largo resulta de resonar a 1, 3, 5, etc., cuartos de onda de la frecuencia de operación, para

eliminar esta inductancia se lo realiza insertando una capacitancia calculada mediante la siguiente expresión.

$$C(pF) = \frac{530\lambda}{Z_0 * \cot g(\beta H)}$$

a) Sistema de alimentación.

La alimentación se la realiza directamente de la batería del automóvil.

2.3.4 ESTACIÓN PORTÁTIL

Una estación portátil es un dispositivo de comunicación de mano, compacta y manejable, cuyo sistema de alimentación son baterías recargables de baja potencia, tiene una antena que sale de la parte superior, según se observa en la figura 2.9.

Para establecer la comunicación se requiere pulsar un botón lateral “Push to Talk”, interruptor que se utiliza para cambiar del modo de recepción, al modo de transmisión, además en algunos casos puede transmitir mensajes de texto cortos.



FIGURA 2.9: ESTACIÓN PORTÁTIL

2.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN ANALÓGICO.

Un Sistema Comunal de Explotación Analógico en la actualidad ofrece exclusivamente comunicación de voz a varios y diferentes grupos de trabajo, pudiendo funcionar al igual que cualquier otro sistema con equipos de una o varias marcas.

Al tener equipos de diferentes marcas las prestaciones que ofrecen se ven disminuidas, ya cada marca tiene señalización y características propias, lo cual no permite escalabilidad, mientras que al tener equipos de una misma marca se puede obtener mejores servicios, ya que se puede explotar los servicios que cada una ofrece, como son: la llamada selectiva, inhibición de radios, llamadas grupales, identificación de unidades, monitoreo remoto, etc., los cuales estarían más acorde con el verdadero funcionamiento de un Sistema Comunal de Explotación.

Un Sistema Comunal de Explotación no debe basar su funcionamiento únicamente en transmisión de voz sino de otros servicios tales como: llamada selectiva, identificación de unidades, verificación de radio, etc., con lo cual se convertiría en un óptimo sistema de comunicación.

2.5 APLICACIONES ACTUALES

Actualmente las aplicaciones que se explotan de los Sistemas Comunales Analógicos son básicamente la transmisión de voz, creación y monitoreo de grupos de trabajo.

La tecnología de la que se dispone es vagamente explotada, por lo que los equipos de comunicación resultan subutilizados y extremadamente costosos.

A pesar de ello este tipo de sistemas de comunicación son muy populares y de uso frecuente en determinados sectores productivos.

2.6 AMPLIACIÓN DE SERVICIOS DEL SISTEMA COMUNAL.

La posibilidad de ampliación física del sistema en las condiciones actuales es limitada, debido al número de usuarios y la poca difusión de los servicios que pueden ofrecer los radios.

Por lo que cada vez se requiere de más Sistemas Comunales de Explotación, pese a que concentran más usuarios que los sistemas privados.

Pero la posibilidad de ampliación del sistema no es exclusivamente física; sino también ampliación de servicios, con lo que se optimizaría el tiempo de uso del canal de comunicaciones.

Otros servicios que se encuentran como funciones adicionales dentro de los radios son:

- a) Llamada selectiva.
- b) Inhibición selectiva.
- c) Monitoreo remoto.
- d) Identificación de unidades.
- e) Verificación de radio, etc.

a) Llamada selectiva.

Solo el equipo o equipos seleccionados recibirán una alerta que les indica que es a ellos a quienes va dirigido el mensaje, haciendo que los usuarios seccionados presten atención y se evite la repetición del mensaje y por lo tanto la congestión del canal de comunicación.

b) Inhibición selectiva.

Esta función permite que la unidad seleccionada reciba una señal que automáticamente apague al equipo quedando deshabilitado para transmitir o recibir señales.

Esta función es muy útil cuando el equipo se ha extraviado o ha sido robado.

c) Monitoreo remoto.

El monitoreo remoto permite escuchar el audio alrededor de la unidad en forma discreta, en el momento en que se reporte una emergencia, permitiendo saber qué es lo que sucede en las cercanías.

d) Identificación de unidades.

Permite identificar y controlar cual es la unidad que está hablando, para que de esta manera no se utilice en forma indebida el sistema de radiocomunicación.

e) Verificación de radio.

Solo la unidad que se desea verificar transmite automática y silenciosamente un comando, el cual indica si el radio se encuentra encendido y dentro del área de cobertura.

2.7 NORMA TÉCNICA PARA SISTEMAS COMUNALES

La norma técnica que rige la correcta implementación, uso y administración de los Sistemas Comunales de Explotación es la expedida por el **Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL**, ver Anexo C.

2.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE ABONADOS DEL SISTEMA ANALÓGICO.

Para dimensionar la capacidad de abonados que un sistema de explotación comunal analógico se debe considerar el número de canales, duración de una llamada, tiempo de espera y la calidad del servicio a ofrecer.

El Grado de Servicio (GDS), es la probabilidad de que una llamada tenga una espera superior a W_o .

$$GDS(N, A) = P(W > W_o) = C(N, A) * \exp\left[-(N-A) * \frac{W_o}{H}\right] \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

N: Número de canales.
A: Tráfico ofrecido expresado en Erlangs¹³, dado por:

$$A = \frac{M * L * H}{3600} \quad (\text{Erlang}) \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

M: Número de móviles
L: Número de llamadas por móvil en la hora cargada.
H: Duración media de la llamada (segundos).
W_o: Tiempo de espera.
C(N,A): Distribución Erlang C¹⁴, dada por:

¹³ Erlang, es una medida de densidad de tráfico en una red telecomunicaciones, equivale a una llamada, más los intentos sin éxito y el tiempo de espera asociado.

¹⁴ Erlang B: Determina la probabilidad de que una llamada sea bloqueada.

- Todos los usuarios, incluso los bloqueados, pueden pedir un canal en cualquier momento.
- Todos los canales libres están disponibles para entregar servicio hasta que todos estén ocupados.
- La probabilidad de utilización de un canal está exponencialmente distribuido. Es decir, las llamadas largas tienen menos probabilidad de ocurrencia. Hay un número finito de canales disponibles.

Erlang C: se realiza el cálculo de cuantas líneas se deben tener en una red, para que dado una cantidad de llamadas por horas, se obtenga un determinado nivel de llamas bloqueadas.

$$C(N, A) = \frac{A^N}{A^N + N! \left(1 - \frac{A}{N}\right) \sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Para calcular la capacidad de un sistema de radiofrecuencia, que trabaja con dos frecuencias de forma semidúplex, el número de canales está predeterminado como un solo canal de trabajo, por lo que:

$$N=1$$

$$W_0 = H \text{ (s)}$$

Con estas consideraciones las expresiones (Ec. 2.3 y Ec. 2.5), se reduce a:

$$GDS(N = 1, A) = P(W > W_0) = C(N = 1, A) * \exp^{[A-1]} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$C(N = 1, A) = A \quad \text{Ec. 2.7}$$

La expresión que se muestra a continuación, es la obtenida de la sustitución de las ecuaciones Ec. 2.4, Ec. 2.6 y Ec. 2.7:

$$GDS(N = 1, A) = \left(\frac{M * L * H}{3600}\right) * \exp\left[\left(\frac{M * L * H}{3600}\right) - 1\right] \quad \text{Ec. 2.8}$$

El cálculo de la probabilidad, que ofrecerá el sistema de explotación analógico, queda determinado por dos supuestos:

- La duración de llamada o tiempo de transmisión:
Se prevé de 20 segundos, para intercambio de información, debido a experiencias medidas en la estación de control.

- Y el número de llamadas por hora cargada¹⁵ igual a uno.

$$L=1; \quad H=20[s]$$

El cálculo del tráfico de Erlang y el porcentaje de grado de servicio, se realizará a través de un proceso iterativo, para lo cual se utilizará la expresión Ec. 2.8 con valores de L=1 y H=20.

A continuación se muestra el proceso para realizar el cálculo del tráfico de Erlang y el porcentaje de grado de servicio.

Este cálculo se realizará para 10 móviles, M=10 equipos.

Tráfico de Erlang.

$$A = \left(\frac{M * L * H}{3600} \right) = \left(\frac{10 * 1 * 20}{3600} \right)$$

$$A = 0,06$$

Grado de Servicio (GDR %)

$$GDS(N = 1, A) = \left\{ \left(\frac{10 * 1 * 20}{3600} \right) * \exp\left[\left(\frac{10 * 1 * 20}{3600}\right)^{-1}\right] \right\} * 100$$

$$GDS(N = 1, A) = \{(0,06) * \exp^{[(0,06)^{-1}]}\} * 100$$

$$GDS(N = 1, A) = (0,06 * 0,39) * 100$$

$$GDS(N = 1, A) = 2,16 \%$$

¹⁵ Hora carga: momento del día en que hay mayor cantidad de tráfico o se está usando el sistema de comunicaciones.

En la tabla 2.5 se muestran los valores calculados según el tráfico de Erlang y porcentaje del grado de servicio variando el número de móviles en forma iterativa.

# ABONADOS	TRÁFICO (ERL)	GRADO DE SERVICIO (GDS %)
10	0,06	2,16
20	0,11	4,57
30	0,17	7,24
40	0,22	10,21
50	0,28	13,49
60	0,33	17,11
70	0,39	21,11
80	0,44	25,50
90	0,50	30,33
100	0,56	35,62

TABLA 2.5: CÁLCULO DEL GRADO DE SERVICIO PARA SISTEMA COMUNAL ANALÓGICO

2.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Por todo lo anteriormente expuesto se puede observar que al hacer un correcto uso y administración de un Sistema Comunal de Explotación Analógico, se puede tener grandes ventajas, entre las que se puede mencionar están los incrementos de producción, disminución de gastos, seguridad en la comunicaciones, monitoreo del estado de los usuarios, etc.

Dependiendo del sector productivo en el que se utilice este sistema de comunicación, la producción se incrementará en mayor o menor porcentaje, por ejemplo:

Empresa florícola: que se pueda indicar que una determinada flor se corte o se deja de cortar, puede significar que se gane o pierda dinero.

Al hacerlo de forma personal es decir de uno en uno, el tiempo que tomará esta acción será largo o al hacerlo vía radio esta acción será cuestión de segundos, es aquí donde se puede evidenciar el incremento de la producción y a la vez disminución de pérdidas.

Al considerar el caso de la florícola se mostró las pérdidas que pueden existir por falta de una comunicación oportuna, de igual forma pueden existir perdidas en otros sectores como el transporte en taxis.

Se reducirán pérdidas al no tener que recorrer inútilmente la ciudad en busca de carreras, lo cual se puede considerar como disminución de gastos.

La disminución de gastos también se puede reflejar en el costo de la comunicación que no es en tiempo aire.

Se tiene una comunicación segura al no depender, de tener o no saldo en tiempo aire, poseer un sistema de repetición y control.

Se puede monitorear el estado de una estación, es decir se encuentra encendida o apagada.

A pesar de todas las ventajas que ostentan los Sistemas Comunes Analógicos, se siguen manteniendo las dificultades debido al número de usuarios que pretenden acceder al sistema y más si lo hacen de forma desordenada o no tienen claro el correcto uso de los equipos caotizando el sistema.

CAPÍTULO 3.

SISTEMAS COMUNALES DIGITALES

3.1 INTRODUCCIÓN.

Un Sistema Comunal Digital trabaja con tecnología de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

Con acceso TDMA un repetidor digital realiza el trabajo de dos repetidores analógicos incrementando la eficiencia del espectro electromagnético y del sistema, se adapta a canales VHF y UHF, sin riesgo de interferencia¹⁶ con o de los canales adyacentes.

El sistema TDMA divide el espectro de radio en ranuras (slots) de tiempo, cada una de las ranuras soporta solo un usuario que envía o recibe, como se muestra en la figura 3.1

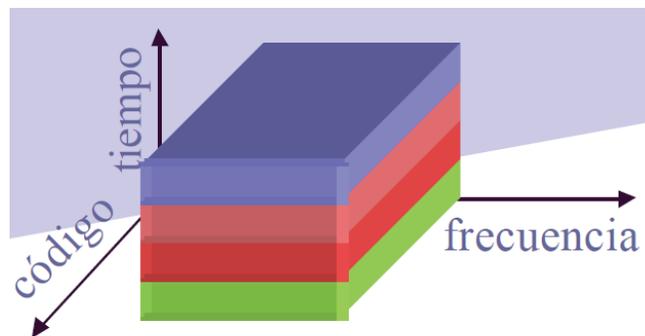


FIGURA 3.1: ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO.

¹⁶

- a) Interferencia Canal Adyacente: son señales interferentes que se presentan en la misma banda de frecuencia que la señal útil
- b) Interferencia Cocanal: son niveles de potencia no deseados provenientes de emisiones de señales situadas en portadoras de la señal útil y que no son completamente eliminadas por los filtros del receptor.

Algunas de las características de TDMA se describen a continuación:

- Varios usuarios comparten una misma portadora, en diferentes ranuras de tiempo, siendo el tamaño de esta dependiente de la técnica de modulación utilizada, el ancho de banda disponible, etc.
- La transmisión no es continua, pero ocurre en ráfagas.
- Se necesita encabezado de sincronización debido a la transmisión en ráfagas. También se requieren bits de protección entre ranuras para separar a los usuarios, lo que lleva a un mayor encabezado comparado con FDMA.

La tecnología TDMA para radios móviles digitales permite que en dos segmentos de tiempo se realicen dos conversaciones simultáneamente dentro de un mismo canal de 12.5 kHz, con un solo repetidor, manejando un slot de tiempo para la comunicación, de acuerdo como se observa en la figura 3.2.

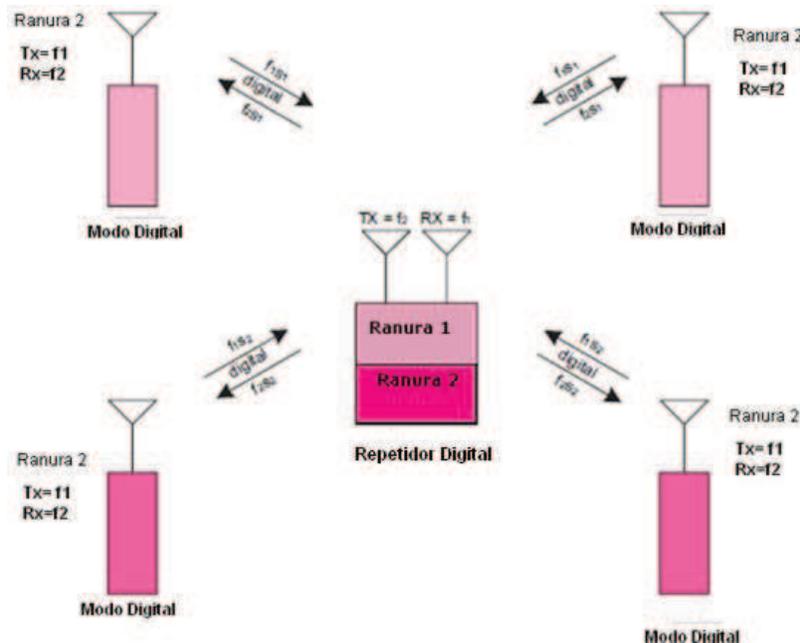


FIGURA 3.2: COMUNICACIÓN CON RANURAS DE TIEMPO.

Esta tecnología permite ofrecer servicios de voz y de datos, integrados. Un segmento de tiempo puede ser empleado para llamadas de voz y otro para transmitir de datos.

A continuación en la figura 3.3, se puede observar el proceso de digitalización del audio o transmisión de datos y los slots de tiempo que emplea un usuario que transmite voz y datos sobre un mismo equipo.

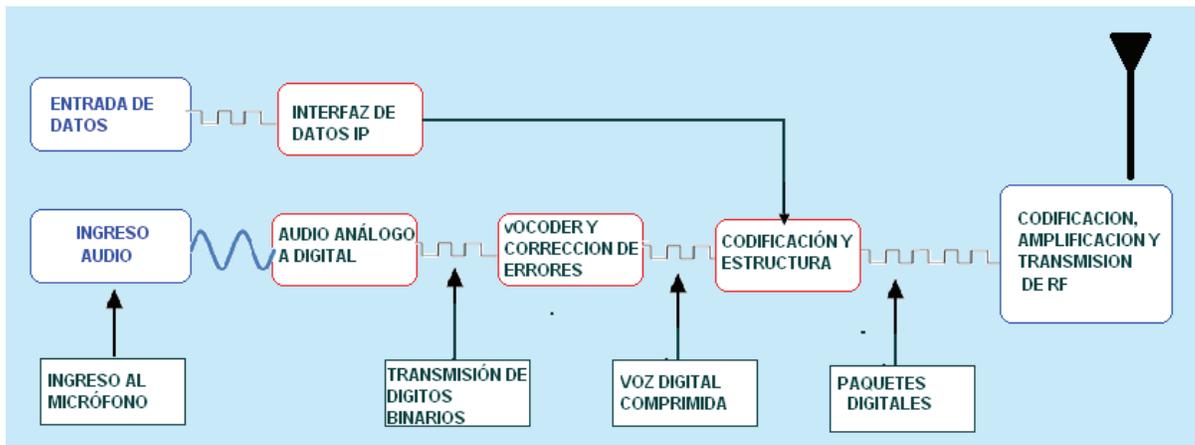


FIGURA 3.3: DIGITALIZACIÓN DEL AUDIO.

3.2 COBERTURA DEL AUDIO DIGITAL.

El audio analógico se degrada linealmente a en toda el área de cobertura, mientras que la calidad de audio digital es más uniforme en la misma área de cobertura, tal como se observa en la figura 3.4.

Una de las razones por las cuales la degradación del audio en un sistema digital es mínima, es por el uso de la codificación FEC¹⁷, disminuyendo el efecto del ruido.

¹⁷ FEC: Codificación con corrección adelantada de errores, técnica de codificación de datos para corregir errores.

La codificación FEC es un sistema de detección y corrección de errores en el que se añade a la información a transmitir (símbolo) otra información adicional (*overhead*) que permite la detección y corrección de errores (siempre y cuando el número de bits erróneos por símbolo no supere un determinado número función del *overhead* añadido).

Los codificadores FEC más utilizados son los que usan códigos Reed-Solomon que permiten corregir hasta 16 bytes erróneos sobre un total de hasta 255 bytes. Estos codificadores actúan sobre bloques (símbolos) de L bytes y,

Esta corrección permite reproducir con precisión tanto el contenido de audio como de datos, en un área mucho mayor.

Esta protección de errores que permite al sistema digital brindar una calidad de audio uniforme a lo largo y ancho del área de cobertura.

La figura 3.4, muestra gráficamente la relación de la calidad del audio, compara los niveles de calidad de audio con niveles de intensidad de la señal.

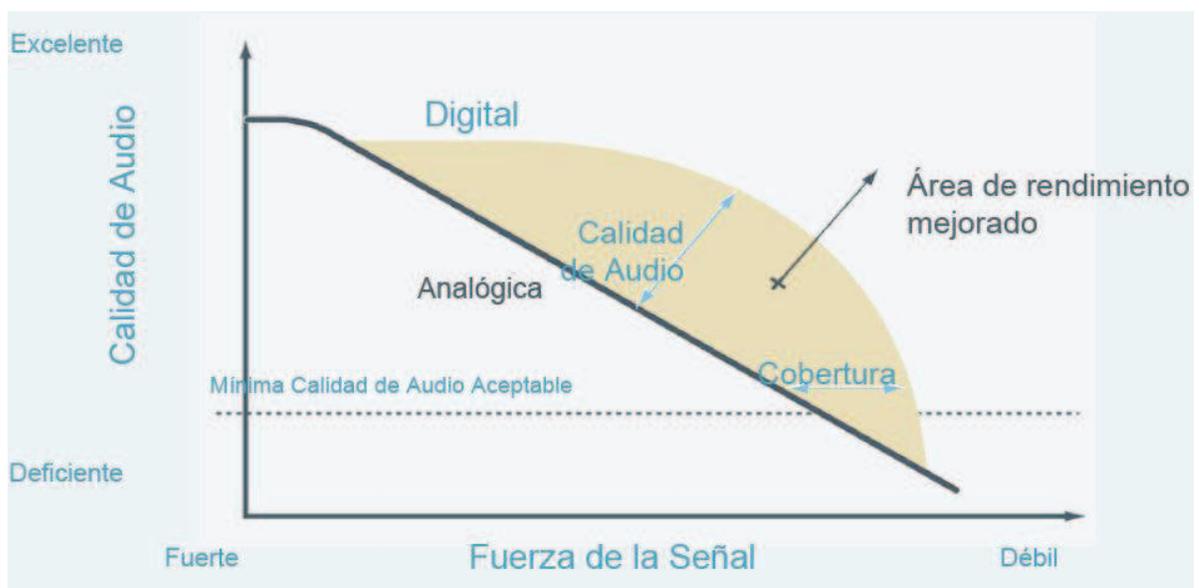


FIGURA 3.4: INTENSIDAD DE SEÑAL VS CALIDAD DE AUDIO

En base a la figura 3.4 se puede concluir que:

- Las señales digitales incrementan el área de cobertura efectiva sobre el nivel de calidad de audio mínimo aceptable.
- Las señales digitales mejoran la calidad y la uniformidad del audio a lo largo y ancho del área de cobertura efectiva.

mediante una serie de operaciones aritméticas, generan a su salida bloques de R bytes ($R > L$) introduciendo un overhead o redundancia de R-L bytes. El decodificador Reed-Solomon del receptor, recalculando las operaciones aritméticas, es capaz de detectar la existencia de errores si el número de bytes erróneos es menor o igual que R-L, y es capaz de corregir estos errores si la cifra de bytes erróneos es menor que $(R-L)/2$.

- Las señales digitales no necesariamente incrementan la distancia total que se propaga una señal de RF.

De acuerdo con las características antes señaladas se puede observar la calidad de audio que ofrece con la digitalización, en la figura 3.5.

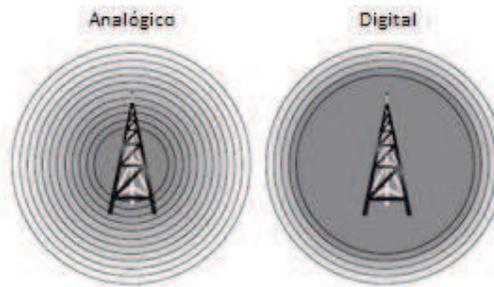


FIGURA 3.5: CALIDAD DE AUDIO ANALÓGICO – DIGITAL

3.3 INTEGRACIÓN DE SERVICIOS.

Una plataforma digital integra servicios y amplían aplicaciones como en la figura 3.6, entre los servicios que se observar están: el envío de datos y mensajes de texto, localización GPS, telemetría, etc.

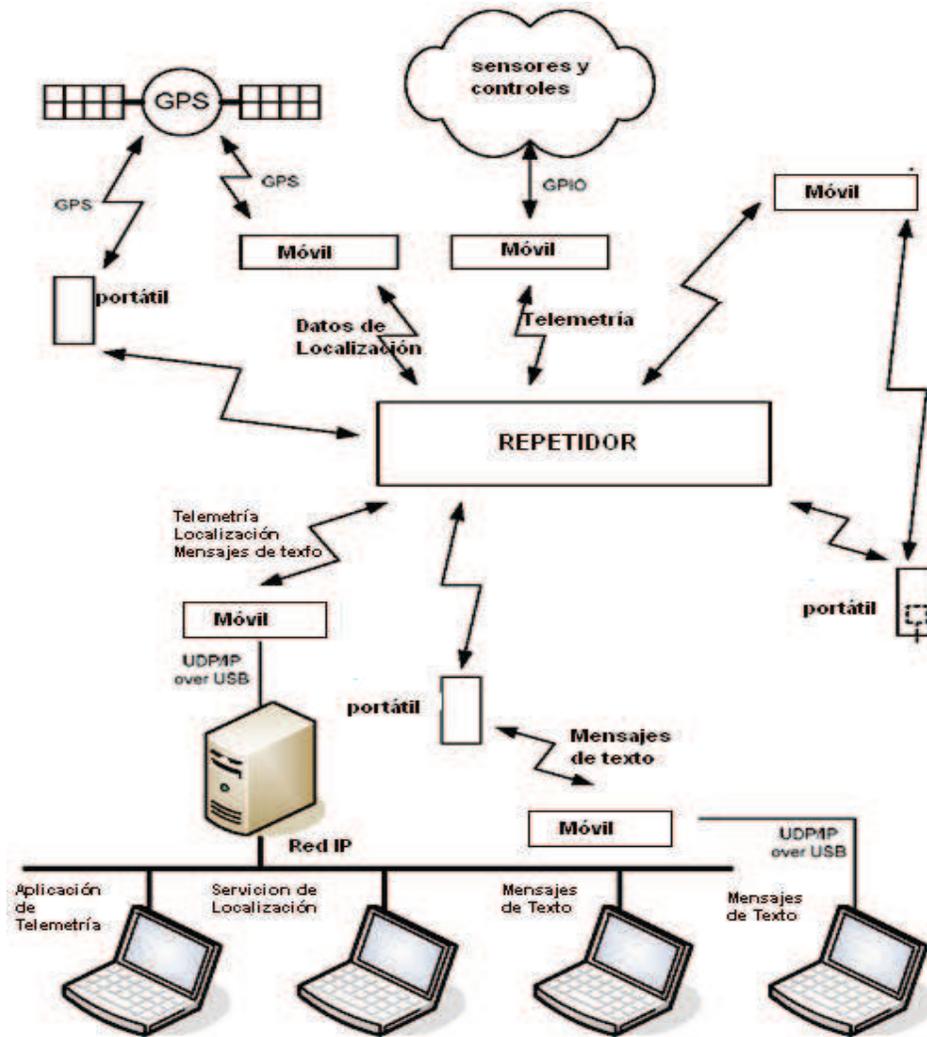


FIGURA 3.6: INTEGRACIÓN DE SERVICIOS.

3.4 ELEMENTOS DE UN SISTEMA COMUNAL DIGITAL.

Al igual que un sistema analógico, un sistema digital está conformado por:

- Estación repetidora
- Estación Base
- Estación móvil.

Tomando en cuenta que existirán algunas variantes en la instalación de las estaciones, por tratarse de una tecnología totalmente diferente.

A continuación se detalla los elementos para la instalación de las estaciones y el funcionamiento de cada una.

3.4.1 ESTACIÓN REPETIDORA.

Una estación repetidora digital cumple las mismas funciones que una repetidora analógica, la diferencia radica en el número de estaciones que puede atender, tipo de servicios que integra y la calidad de servicio de voz que presta.

Para su funcionamiento requiere también de un duplexor, de una fuente de poder y antena como elementos básicos, para la creación de grupos o flotillas de trabajo emplea el estándar DRM¹⁸.

3.4.2 RADIO MÓVIL DIGITAL

El DMR es un sistema de dos ranuras TDMA, integrando servicios de voz y datos.

Las estaciones base, móviles y portátiles cumplen las mismas funciones que las analógicas, integrando servicios y disminuyendo el tráfico que produce cada transmisión.

DMR es un estándar de Interfaz Aire ETSI. El estándar (ETSI TS 102 361) se divide en tres niveles:

- Nivel 1: Estándar para uso sin licencia que proporciona una alternativa digital al radio móvil privado analógico. DMR nivel 1 es específico para baja potencia (500mW).

¹⁸ DMR: Digital Mobile Radio o radio móvil digital

- Nivel 2: Estándar Convencional (no troncalizados) para uso con licencia que permite una forma de migración digital para usuarios de radiocomunicaciones móviles privadas.
- Nivel 3: Estándar para sistemas troncalizados para uso con licencia, el cual estuvo en un principio dirigido a permitir una forma de migración digital.

3.5 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN DIGITAL.

Un sistema comunal digital funciona como un sistema de radio despacho normal, en el que incluye servicio de mensajería, localización, creación de grupos de trabajo mediante DMR, identificación de usuarios.

La estación de control se encarga de direccionar la comunicación, manteniendo un constante control de la ubicación, identificación y funcionamiento de los equipos.

Los grupos que se forman pueden ser multidisciplinarios, por lo que el sistema no está orientado a un tipo de usuario en especial.

3.6 APLICACIONES.

Entre las aplicaciones que se pueden explotar en sistemas comunales digitales están la llamada en grupo, llamada selectiva, identificación de llamada, alerta de llamada, verificación del radio, inhibición selectiva del radio, llamada de emergencia, etc.

Pero además también se puede ampliar los servicios hacia la radio localización (GPS), telemetría básica, envío y recepción de mensajes de texto.

a) RADIO LOCALIZACIÓN

El servicio de localización ofrece la capacidad de ubicar y rastrear equipos móviles, en tiempo real mediante un mapa de visualización, permitiendo para dar un seguimiento constante de recursos.

Los radios móviles y portátiles equipados con GPS pueden transmitir sus coordenadas de posición por el sistema de radio, presentar las posiciones geográficas de los radios en un mapa.

Esta función puede ser explotada por usuarios que requieran transportar valores, o que requieran tener control de sus equipos y su desempeño.

b) TELEMETRÍA BÁSICA

Los radios digitales incorporan en su funcionalidad telemetría que se apoya en el funcionamiento digital.

Permite al radio interpretar un mensaje y traducirlo en una acción de entrada o salida de propósito general, a través de un circuito externo diseñado de acuerdo a las necesidades.

c) ENVIÓ Y RECEPCIÓN DE MENSAJES DE TEXTO.

La tecnología digital permite la transmisión de datos incluyendo los Servicios de Mensajes de Texto, los cuales permiten la comunicación en forma de texto entre radios y sistemas de despacho, entre radios y aparatos con capacidad para envío de correo electrónico, y hacia clientes remotos de PC acoplados a radios.

3.7 CAPACIDAD DE ABONADOS DEL SISTEMA ANALÓGICO.

Al trabajar con sistema el digital DMR, que trabaja con dos slots de tiempo, el dimensionamiento se lo realizará, como si cada slot fuese un canal.

Por lo que la capacidad que tendrá el sistema será el doble de un sistema analógico, además se debe considerar que el tiempo de duración y recurrencia de una llamada disminuirá notablemente debido al uso de mensajería de texto.

La mensajería de texto permite almacenar datos importantes por lo que la información no requerirá ser retransmitida, disminuyendo de esta forma el tiempo de comunicación o repetición de la misma.

Además la ubicación de una unidad se lo hace mediante la utilización de GPS liberando de esta forma el canal.

Por lo que se ha considerado que para el cálculo de la capacidad del sistema se asumirá dos canales de trabajo, disminución del tiempo de transmisión en un 25%, al igual que el tiempo de espera, respecto a un sistema analógico.

El tiempo de transmisión para un sistema analógico se consideró 20 segundos, por lo que para un sistema digital se considerará 15 segundos.

En la tabla 3.1 se muestra el resultado del cálculo de la capacidad de sistema digital, con las consideraciones antes expuestas.

A continuación se muestra el proceso para determinar el tiempo y distribución de Erlang y el porcentaje de grado de servicio, para 100 equipos.

Al igualar W_0 a H expresión Ec. 2.3, se reduce a:

$$GDS(N, A) = P(W > W_0) = C(N, A) * \exp^{-(N-A)} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Con la que determinará el grado de servicio.

Para determinar el tiempo de Erlang se empleará la ecuación Ec. 2.4, con valores $L=1$, $H=15[s]$ y 100 móviles, como se muestra en el siguiente ejemplo de cálculo:

$$A = \frac{M * L * H}{3600}$$

$$A = \frac{100 * 1 * 15}{3600}$$

$$A = \frac{1500}{3600}$$

$$A = 0,417 \text{ [erlangs]}$$

Cálculo de la distribución de Erlang mediante la expresión Ec.2.5

$$C(N, A) = \frac{A^N}{A^N + N! \left(1 - \frac{A}{N}\right) \sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!}}$$

$$C(N, A) = \frac{0,417^2}{0,417^2 + 2! \left(1 - \frac{0,417}{2}\right) \sum_{k=0}^{2-1} \frac{0,417^k}{k!}}$$

$$C(N, A) = \frac{0,17388}{0,17388 + 2(1 - 0,0869)(1 + 0,17388)}$$

$$C(N, A) = \frac{0,17388}{0,17388 + 2(1 - 0,0869)(1 + 0,17388)}$$

$$C(N, A) = \frac{0,17388}{0,17388 + 2,143}$$

$$C(N, A) = 0,075$$

La distribución de Erlang permite calcular el porcentaje de grado de servicio, mediante la expresión Ec. 3.1 para un sistema digital.

$$GDS(N = 2, A) = C(N = 2, A) * \exp^{[A-2]}$$

$$GDS(N = 2, A) = 0,075 * \exp^{[-1,583]} * 100$$

$$GDS(N = 2, A) = 0,075 * 0,205 * 100$$

$$GDS(N = 2, A) = 1,47 \%$$

# ABONADOS	TRÁFICO (Erl)	GRADOS DE SERVICIO (GDS %)
10	0,00	0,01
20	0,00	0,05
30	0,01	0,11
40	0,01	0,20
50	0,02	0,33
60	0,03	0,48
70	0,04	0,67
80	0,05	0,90
90	0,06	1,17
100	0,07	1,47
110	0,09	1,83
120	0,10	2,23
130	0,12	2,69
140	0,13	3,19
150	0,15	3,76
160	0,17	4,39
170	0,19	5,09
180	0,20	5,86
190	0,22	6,71
200	0,25	7,63
210	0,27	8,65
220	0,29	9,75
230	0,31	10,95
240	0,33	12,26
250	0,36	13,68
260	0,38	15,22
270	0,41	16,88
280	0,43	18,68
290	0,46	20,62
300	0,48	22,71
310	0,51	24,96
320	0,53	27,38
330	0,56	29,98
340	0,59	32,78
350	0,61	35,78

**TABLA 3.1: CÁLCULO DEL GRADO DE SERVICIO
PARA SISTEMA COMUNAL DIGITAL**

Los resultados expuestos responden a un crecimiento exponencial, por lo que la capacidad del sistema digital es mucho mayor.

En la figura 3.7, se puede observar el grado de servicio o tiempo de espera de los sistemas analógicos y digitales.

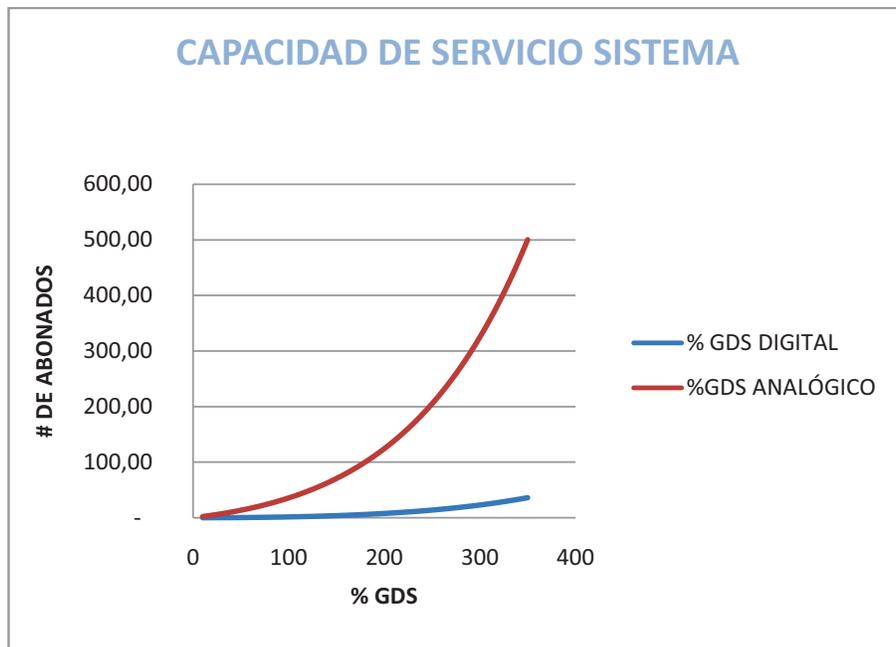


FIGURA 3.7: CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD DE LOS SISTEMAS ANALÓGICOS Y DIGITALES.

3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA COMUNAL DE EXPLOTACIÓN DIGITAL

- Reducir los costos de operación al mantener una sola marca de equipos, debido a que se puede utilizar de mejor manera las funciones que tienen estos radios, como la mensajería de texto, ubicación por GPS, llamada de persona a persona, llamada colectiva o por grupos.

- Proporcionar a los usuarios información en tiempo real, como direcciones o instrucciones, permitiendo un manejo más eficiente de los activos.
- Ofrecer diferentes alternativas de comunicación, como puede ser el leer un mensaje de texto en un ambiente ruidoso, al establecer una conversación de tipo confidencial y utilizar la llamada de persona a persona o llamada selectiva, determinar la ubicación de una unidad mediante GPS, conectarse a una red o al internet, o realizar actividades de telemetría como apertura o cierre de puertas, activación o desactivación de equipos, etc.
- Permitir una comunicación rápida y flexible con cualquier aparato pre-configurado con capacidad para envío de correo electrónico, incluyendo teléfonos celulares y organizadores electrónicos.
- Mayor capacidad digital de voz, datos y de control. Al comparar las tablas 2.5 y 3.1 se puede observar que el grado de servicio para un sistema analógico es mucho menor que para un sistema digital, al ser sistemas digitales se tiene servicios con acceso a redes LAN, internet y mensajes de texto de hasta 140 caracteres y mensajes pregrabados. La capacidad de control se la desarrolla mediante circuitos externos utilizando telemetría.
- Costos más bajos en equipos y licencias. De acuerdo a la tabla 3.1 se puede observar que el sistema digital tiene 250 usuarios más que un sistema analógico, de esta forma al poder tener más usuarios por repetidora, se requiere tener menos sistemas de repetición y permisos de operación.
- Comunicaciones de voz más nítidas sobre un área mayor de cobertura. Como se puede observar en la figura 3.4, la intensidad de la señal en un sistema analógico disminuye conforme aumenta la distancia entre el

repetidor y la estación móvil o portátil, en cambio para un sistema digital la intensidad de la señal se mantiene constante a medida que se incrementa el área de cobertura, llegando a un punto en el que decrece abruptamente, imposibilitando cualquier tipo de comunicación, este punto es la mayor área de cobertura que tiene.

- Como se muestra en la figura 3.4, las señales digitales mejoran la calidad y la uniformidad del audio, disminuyendo de esta forma la estática y el ruido, a lo largo y ancho del área de cobertura efectiva. La calidad de audio permanece en un nivel alto, puesto que la protección de errores minimiza el efecto del ruido.
- Aplicaciones de esto incluyendo rastreo y localización mediante GPS y mensajes de texto.
- Optimiza el ciclo de vida de la batería y maximiza el tiempo de conversación, debido a que el sistema de cargado de las baterías de los radios portátiles, primero descarga la batería antes de recargarla. Permitiendo de esta manera tener una batería cien por ciento cargada.

CAPÍTULO 4.

4.1 DISEÑO DE UN SISTEMA COMUNAL DIGITAL

Para diseñar un sistema comunal digital se debe considerar el área que se desea cubrir, el rango de frecuencias que requiere, disponibilidad de recursos físicos y económicos para implementar el sistema, tipo de servicios a ofrecer, equipos, accesorios necesarios, etc.

4.2 ÁREA DE COBERTURA.

El área de cobertura depende de varios factores entre los que están:

a) Factores Ambientales.

Los factores ambientales dependen del tipo de medio en que se propagan las ondas electromagnéticas, este medio puede ser rural, urbano o mixto.

b) Medio Rural

Los parámetros que influyen al medio ambiente rural, son:
Pérdidas por absorción vegetal.

c) Medio Urbano

Los parámetros básicos que influyen al medio ambiente urbano, son:

El clima local, y especialmente la radiación solar y la dirección de los vientos que más afectan al emplazamiento del edificio.

- Construcción, emplazamiento y materiales utilizados.

- El calor producido por el sector de la edificación, el transporte y la industria.

d) Parámetros del sistema:

Se puede considerar como parámetros del sistema:

- La distancia de cobertura.
- La altura efectiva del transmisor y receptor.

e) Parámetros de los equipos.

Estos son parámetros técnicos como:

- Potencia del transmisor.
- Ganancia de las antenas.
- Sensibilidad de los receptores.
- Pérdidas en alimentadores, duplexor, etc.

4.3 CÁLCULO DE LA ALTURA EFECTIVA DE ANTENA¹⁹

El procedimiento para calcular la altura efectiva de la antena se encuentra indicado en el Anexo 2, del Instructivo RNI (Radiaciones No ionizantes), dado por la **SENATEL**, especificado Anexo D.

Tanto para el cálculo de la altura efectiva como para el cálculo del área de cobertura, se requiere obtener los perfiles topográficos cada 30° del área a servir, tomando como centro al sitio donde se ubicará la estación repetidora.

¹⁹ http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1798

CÁLCULO DE LA ALTURA EFECTIVA.

UBICACIÓN DEL TRANSMISOR

CERRO PICHINCHA

ALTURA DEL TX (S.N.M)

3770 m

ALTURA DEL CENTRO GEOMÉTRICO DE RADIACIÓN

20 m

DE LA ANTENA RESPECTO AL SUELO

Distancia (m)	Altura Corregida (m) factor de corrección 4/3											
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
0	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790
3000	4138,40	3997,70	3368,50	3239,80	3259,00	3283,90	3481,60	3519,70	3810,70	2773,20	4322,40	4265,10
4000	3927,50	3695,50	3449,20	2981,60	2976,40	3230,20	3398,30	3328,60	3638,70	4107,90	4399,70	4150,35
5000	4034,60	3495,10	3175,20	2892,10	2914,30	2894,00	3044,30	3149,00	3637,50	4221,00	4191,70	4126,10
6000	3931,50	3302,70	2942,70	2819,80	2826,30	2840,90	2994,80	3197,00	3496,30	4377,00	4328,00	4279,30
7000	3876,40	3130,10	2836,90	2777,90	2805,20	2830,60	2946,00	3108,30	3375,80	1535,80	4285,90	4079,40
8000	3637,40	3044,50	2825,22	2822,00	2693,10	2877,10	2869,00	3054,20	3081,70	3743,30	4152,50	3870,10
9000	3386,40	2906,90	2812,30	2944,90	2885,50	3027,60	2859,60	3245,40	2879,10	3510,60	3849,73	3574,30
10000	3259,70	2811,50	2850,80	2767,60	2805,30	2914,30	2873,10	3354,70	2823,00	3029,80	36492,00	3458,15
11000	3273,60	2731,30	2909,90	2556,50	2569,20	2844,30	2898,80	3312,80	2702,90	2875,23	3461,10	2978,10
12000	3132,70	2686,30	2842,00	2434,10	2456,20	2710,90	2908,60	3281,40	1037,80	2664,50	3264,58	2874,10
13000	3163,10	2660,10	2633,20	2361,90	2403,00	2605,70	2928,00	3417,40	3318,80	2435,18	3179,50	2732,40
14000	3110,90	2636,10	2589,80	2329,90	2404,40	2558,40	2946,80	3672,00	3302,30	781,90	3015,02	2648,19
15000	2414,90	2628,10	2603,80	2331,70	2498,10	2533,60	2990,00	3623,00	1437,90	1465,18	2985,90	2985,35

ALTURA EFECTIVA PARA CADA PUNTO POR RADIAL.												
DISTANCIA	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
3000	-358,40	-217,70	411,50	540,20	521,00	496,10	298,40	260,30	-30,70	1006,80	-542,40	-485,10
4000	-147,50	84,50	330,80	798,40	803,60	549,80	381,70	451,40	141,30	-327,90	-619,70	-370,35
5000	-254,60	284,90	604,80	887,90	865,70	886,00	735,70	631,00	142,50	-441,00	-411,70	-346,10
6000	-151,50	477,30	837,30	960,20	953,70	939,10	785,20	583,00	283,70	-597,00	-548,00	-499,30
7000	-96,40	649,90	943,10	1002,10	974,80	949,40	834,00	671,70	404,20	2244,20	-505,90	-299,40
8000	142,60	735,50	954,78	958,00	1086,90	902,90	911,00	725,80	698,30	36,70	-372,50	-90,10
9000	393,60	873,10	967,70	835,10	894,50	752,40	920,40	534,60	900,90	269,40	-69,73	205,70
10000	520,30	968,50	929,20	1012,40	974,70	865,70	906,90	425,30	957,00	750,20	-32712,00	321,85
11000	506,40	1048,70	870,10	1223,50	1210,80	935,70	881,20	467,20	1077,10	904,77	318,90	801,90
12000	647,30	1093,70	938,00	1345,90	1323,80	1069,10	871,40	498,60	2742,20	1115,50	515,42	905,90
13000	616,90	1119,90	1146,80	1418,10	1377,00	1174,30	852,00	362,60	461,20	1344,82	600,50	1047,60
14000	669,10	1143,90	1190,20	1450,10	-2394,40	1221,60	833,20	108,00	477,70	2998,10	764,98	1131,82
15000	1365,10	1151,90	1176,20	1448,30	-2488,10	1246,40	790,00	157,00	2342,10	2314,82	794,10	794,65
ALTURA EFECTIVA POR RADIAL	296,38	724,16	869,27	1067,71	469,54	922,19	769,32	452,04	815,19	893,80	-2522,16	239,93
ALTURA EFECTIVA	416,45	m										

4.4 CÁLCULO DEL ÁREA DE COBERTURA.

Para calcular el área de cobertura se debe tomar en consideración varios factores entre los que están:

- Pérdidas en zonas: urbana, suburbana y rural.

Para calcular las pérdidas en un medio urbano, se tomó como referencia la fórmula empírica²⁰ de Hata, derivada del modelo de Okumura – Hata.

El modelo de Okumura es uno de los más utilizados para predicción de señales en áreas urbanas. Este modelo es aplicable para frecuencias en el rango de 150 MHz a los 1920 Mhz, comprende la banda de VHF y UHF y distancias de 1 Km a 100 Km.

Puede ser usado para alturas de la antena de la estación base en el rango de 30 m a 1000 m.

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) * \log(d) \text{ [dB]} \text{ Ec. 4.1}$$

Donde:

f: Frecuencias de trabajo en MHz, en el rango de 150 – 1500 MHz.

ht: Altura efectiva de la antena transmisora (m), en el rango de 30 - 200 m.

hm: Altura sobre el suelo de la antena receptora, en el rango 1– 10 m.

d: Distancia (Km).

a(hm): Es una corrección que depende de la altura de la antena móvil.

Para una altura de hm=1.5m, a(hm)=0m.

²⁰ **Método Empírico:** Es un modelo de investigación científica, los datos empíricos son sacados de las pruebas acertadas y los errores, es decir, de experiencia. Su aporte al proceso de investigación es resultado fundamentalmente de la experiencia.

Para alturas diferentes, depende del tipo de ciudad para la cual se calcule el área de cobertura.

- **Ciudad media pequeña.**

$$a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) * h_m - (1.56 \log(f)) \text{ [dB]} \quad \text{Ec. 4.2}$$

- **Ciudad grande.**

$$a(h_m) = 9.29(\log 1.54h_m)^2 - 1.1 \text{ [dB]} \quad f \leq 200\text{MHz} \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$a(h_m) = 3.29(\log 11.75h_m)^2 - 4.97 \text{ [dB]} \quad f \geq 400\text{MHz} \quad \text{Ec. 4.4}$$

La expresión para el cálculo de pérdidas para un receptor que está en una zona suburbana, rodeada por calles anchas, edificios de baja altura, es:

$$L_{b_s} = L_b - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 \text{ [dB]} \quad \text{Ec. 4.5}$$

Finalmente la expresión para el cálculo de pérdidas para un receptor ubicado en una zona rural, abierta, sin obstrucciones, es:

$$L_{b_r} = L_b - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \text{ [dB]} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Cabe destacar que la fórmula de Hata no toma en cuenta la influencia de la ondulación del terreno ni los efectos derivados del grado de urbanización.

4.5 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.

Entre las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el diseño del sistema están:

- Intensidad de campo mínimo utilizable.
- Potencia efectiva radiada.
- Potencia a proteger.

Estos parámetros están relacionados directamente con la potencia de los equipos, antenas, líneas de transmisión, etc.

4.5.1 INTENSIDAD DE CAMPO MÍNIMO UTILIZABLE.

La intensidad de campo mínimo utilizable o también llamado campo mínimo necesario o campo a proteger, es el valor mínimo que permite obtener una señal de determinada calidad.

La intensidad de campo mínimo utilizable está determinada por la potencia radiada, ganancia de la antena transmisora y distancia de cobertura, las unidades de medida generalmente utilizadas son microvoltios por metro [$\mu\text{V}/\text{m}$].

Para el cálculo de la cobertura de un sistema comunal, la intensidad de campo eléctrico utilizable es 38,5 dB $\mu\text{V}/\text{m}$, según la Norma Técnica del Sistema Comunal de Explotación, artículo 4 (Anexo C).

4.5.2 POTENCIA A PROTEGER

Una vez determinada la frecuencia de operación, la intensidad de campo utilizable, se debe determinar la potencia a proteger mediante la expresión:

$$Pa = \left[\frac{En^2}{120\pi} \right] \left[\frac{\lambda^2}{4\pi} \right] \quad \text{Ec. 4.7}$$

Donde:

Pa: Potencia a proteger [W].

En: Intensidad de campo utilizable.

4.5.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA EFECTIVA RADIADA. (PER)

Para calcular la potencia efectiva radiada, se debe considerar la potencia del transmisor, ganancia máxima de la antena transmisora, las pérdidas del sistema radiante.

$$PER = P_{TX} + G_{TX} - \alpha f - \alpha ep \quad \text{Ec. 4.8}$$

Donde:

Pe: Potencia del transmisor

GTX: Ganancia de la antena transmisora.

αf : Pérdidas en el alimentador

αep : Pérdidas en elementos pasivos del transmisor.

4.6 CÁLCULO TEÓRICO DE COBERTURA PARA UN SISTEMA COMUNAL DIGITAL.

Para determinar el área de cobertura teórica de un sistema digital, se deberá conocer las frecuencias de operación, características técnicas y ubicación de la estación repetidora y características del sistema radiante.

Una vez conocidos estos datos se deberá seguir el siguiente proceso:

1. Determinar los perfiles topográficos del área de interés.

- a) Sobre una carta topográfica, de escala adecuada ubicar el sitio donde se instalará la estación repetidora.
- b) Tomando como centro el punto anterior, trazar radiales cada 30°, en sentido horario, partiendo desde el norte como 0°.
- c) Una vez trazados los radiales, sobre cada uno de ellos, la SENATEL recomienda obtener las alturas cada 5 Km, pero con esta recomendación se pierden muchos detalles en los perfiles. Por lo que se opto por registrar las alturas cada 2,5 Km hasta 50 Km.
- d) Finalmente se debe corregir la altura con el factor $K=4/3$ ²¹ utilizando las expresión Ec.4.9 y Ec.4.10:

$$H = h + h_c \quad \text{Ec.4.9}$$

Donde:

H : altura corregida

h : altura sobre el nivel del mar

hc : altura de corrección

k : factor de corrección.

$$h_c = \frac{D_1 * D_2}{k * 12.75} \quad \text{Ec.4.10}$$

Donde:

D1 = distancia al obstáculo desde el transmisor [km]

D2 = distancia al obstáculo desde el receptor [km]

k = 4/3

²¹ El factor de corrección K no siempre es 4/3, este depende la zona sobre la cual esta trabajo el sistema de comunicación.

Es decir para zonas con fríos extremos (caída de nieve), la constante K será 2/3, que es el peor de los casos. Para zonas templadas como es el caso del Ecuador, la constante será 4/3.

- e) Calcular la altura efectiva.
- f) Determinar el área de cobertura óptima teórica, la cual se calculará para cada radial, mediante la expresión
- g) $PER - Lb(d) = Pa$ Ec.4.11
- h) Graficar el área de cobertura uniendo los puntos de cada radial según las distancia de cobertura.

4.7 CONSIDERACIONES TÉCNICAS.

Dentro de los aspectos técnicos más importantes a considerar:

- Ubicación de la estación repetidora y fija.
- Vías de acceso hacia el repetidor.
- Alimentación de la estación repetidora y fija.
- Obra civil.
- Luces de balizamiento.
- Mantenimiento.

4.7.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

Para la implementación del sistema comunal de explotación digital la estación repetidora, fija, móvil y portátil debe ser de la misma marca, ya que por las características que posee estos equipos se puede explotar de mejor manera todas sus bondades.

Para el diseño del sistema comunal digital de explotación primero se debe considerar el área que se desea cubrir, para de esta forma escoger la mejor ubicación del cerro.

Ya que el área que se desea a cubrir es la ciudad de Quito se ubicará el repetidor en el cerro Pichincha, que es de fácil acceso y la caseta en la que se instalará cuenta con energía eléctrica y torre de comunicaciones, la misma que cuenta con luces de balizamiento.

El mantenimiento correctivo preventivo se lo realizará de forma periódica un vez al mes, previa planificación.

4.7.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN REPETIDORA.

Los equipos que se utilizarán en la implementación de la estación repetidora son:

- Repetidor.
- Duplexor.
- Antena.
- Cable coaxial.
- Accesorios.
- Banco de baterías.

A continuación se especifican algunos requerimientos mínimos para instalar un sistema de comunicaciones fijo móvil digital, en el rango de UHF, específicamente de 450-500 MHz, que es lo que la SENATEL tiene asignado para el uso de sistemas comunales de explotación.

a) ESTACIÓN REPETIDORA

Las especificaciones del repetidor que se presentan a continuación, son las que en forma directa intervienen en el cálculo del área de cobertura.

ESPECIFICACIONES GENERALES REPETIDOR	
Potencia de salida	20 W
Frecuencia de operación	460 MHz
Espaciamiento entre canales	12,5 kHz

Los cálculos se realizan para 20 vatios de salida, ya que esta potencia, permite tener una buena calidad señal de operación tanto para radios móviles como portátiles, lo cual se tiene una área cobertura sin sombras²².

La frecuencia de operación que se propone (460 MHz), se encuentra dentro del rango de frecuencias asignadas para estos servicios, como se mencionada en la tabla 1.1, esta además dentro del rango de operación del repetidor.

Esta frecuencias puede ser ratificada o modificada por el ente regulador, de a cuerdo a la disponibilidad de frecuencias.

El espaciamiento entre canales de 12,5 KHz, es un valor que ha sido establecido por la SENATEL y entes reguladores internacionales, para un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, es por esto que los equipos ya vienen calibrados para espaciamientos de 25 y 12,5 KHz.

b) DUPLEXOR

Dentro de las características más importantes que se pueden mencionar del duplexor están la frecuencia de operación, el VSWR (Coeficiente de reflexión), la impedancia y tipo de conector:

²² Área de cobertura sin sombras: Zonas sin señal, dentro del área de cobertura.

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Frecuencias de operación.	460 MHz
VSWR (max)	1.5:1 *1
Impedancia	50 Ω
Conector	N (hembra)

La frecuencia de operación del duplexor, deberá ser la misma que la del repetidor, ya que estos dos equipos deben trabajar conjuntamente.

El VSWR, debe ser el menor posible, para que de esta forma se tenga un mejor acoplamiento de la señal.

La impedancia de entrada debe ser la misma para el repetidor, el duplexor, la línea de transmisión y conectores, para obtener una máxima transferencia de energía.

c) ANTENA

La antena que se requiere para este sistema debe satisfacer las necesidades de cobertura, frecuencia, ganancia, etc., que tiene el sistema de comunicación.

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Tipo	Omnidireccional
Rango de frecuencias	460 MHz
Impedancia nominal	50 Ω
Ganancia	6.6 dBd
Conector	N macho

d) LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

Para escoger la mejor línea de transmisión se debe considerar aquella que tenga menores pérdidas, la misma impedancia que el repetidor o radio fija y un buen factor de velocidad.

ESPECIFICACIONES GENERALES.	
Impedancia	50 Ω
Factor de velocidad	89 %
Atenuación	0.83 dB cada 30 m

4.7.3 ESTACIÓN FIJA

Los equipos que se utilizarán en la implementación de la estación fija son:

- Radio Fija
- Antena.
- Cable coaxial.
- Accesorios.

Las especificaciones de la antena y cable coaxial son los mismos que para la estación repetidora, en cuanto a la radio los requerimientos son los siguientes:

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Potencia de salida	20 W
Frecuencias	460 MHz
Espaciamiento de canal	12.5 kHz / 25 kHz

Para la estación fija se la ha considerado una potencia de salida de 20 vatios, tomando en cuenta que a esta accederán todas las estaciones móviles y portátiles.

4.8 CÁLCULO DE PERFILES Y ÁREA DE COBERTURA PARA EL CERRO PICHINCHA.

La corrección de los perfiles topográficos con factor 4/3 se los realiza mediante la ecuación Ec. 4.10, de acuerdo el siguiente procedimiento:

- 1) Cálculo de la altura de corrección.

$$D1=2.5 \text{ Km}$$

$$D2=47.5 \text{ Km}$$

$$h_c = \frac{2,5 * 47,5}{\frac{4}{3} * 12.75}$$

$$h_c = 6.99 \text{ [m]}$$

- 2) La altura corregida se obtiene mediante la ecuación Ec.4.9:

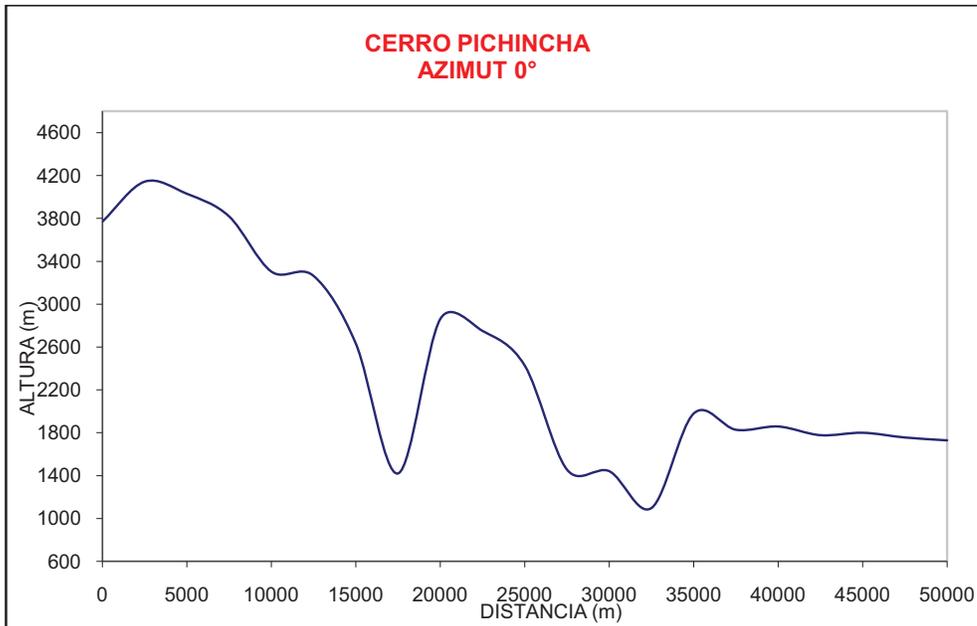
$$h=4136 \text{ [m]}$$

$$H=4136+6.99$$

$$H=4142.99 \text{ [m]}$$

- 3) Este es un proceso iterativo por lo que se repetirá el cálculo para distancias de 2.5 Km hasta 50 Km cada 2.5 Km, para cada radial, como se menciona en el literal c) del numeral 4.8 **CÁLCULO TEÓRICO DE COBERTURA PARA UN SISTEMA COMUNAL DIGITAL.**
- 4) Una vez obtenidos estos valores se realizará el gráfico del perfil y en la tabla 4.1 se muestran los valores obtenidos de los cálculos anteriores.

En el anexo E, puede observar los resultados de los cálculos realizados junto con sus respectivas gráficas para cada uno de los radiales.



Distancia D1 (m)	Altura h (m)	Distancia D2 (m)	Altura de corrección hc (m)	Altura Corregida H (m)
0	3770	50000	0	3770
2500	4136	47500	6,99077708	4142,990777
5000	4016,6	45000	13,24568289	4029,845683
7500	3799,9	42500	18,76471743	3818,664717
10000	3280,6	40000	23,54788069	3304,147881
12500	3235,9	37500	27,59517268	3263,495173
15000	2601,5	35000	30,90659341	2632,406593
17500	1386,6	32500	33,48214286	1420,082143
20000	2825,9	30000	35,32182104	2861,221821
22500	2714	27500	36,42562794	2750,425628
25000	2389,9	25000	36,79356358	2426,693564
27500	1419,2	22500	36,42562794	1455,625628
30000	1406	20000	35,32182104	1441,321821
32500	1063,8	17500	33,48214286	1097,282143
35000	1948,3	15000	30,90659341	1979,206593
37500	1800	12500	27,59517268	1827,595173
40000	1834,7	10000	23,54788069	1858,247881
42500	1758,5	7500	18,76471743	1777,264717
45000	1786,6	5000	13,24568289	1799,845683
47500	1748,6	2500	6,99077708	1755,590777
50000	1729	0	0	1729

TABLA 4.1: CORRECCIÓN PERFIL 0° FACTOR K=4/3

Distancia (m)	Altura Corregida Factor de corrección 4/3											
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
0	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790	3790
2500	4142,99	3833,09	2834,09	3423,99	3456,19	3426,89	3436,09	3529,69	3783,49	3634,19	3636,79	4263,39
5000	4029,85	3480,45	3186,65	2901,15	2921,25	2904,05	3057,75	3160,85	3637,25	4227,05	4192,05	4114,95
7500	3818,66	3167,96	2823,66	2795,66	2699,46	2863,46	2901,76	3085,16	1832,46	3789,56	3565,66	3818,76
10000	3304,15	2838,45	2872,55	2776,85	2826,35	2936,35	2896,05	3369,75	2827,85	2891,45	3423,55	3423,55
12500	3263,50	2716,10	2757,20	2405,70	2428,10	2685,90	2945,10	3351,40	2427,60	2827,60	3069,40	2856,60
15000	2632,41	2643,71	2634,61	2366,01	2547,41	2564,41	3018,31	3642,71	1257,41	2430,91	3011,31	1177,21
17500	1420,08	2743,08	1833,48	2384,68	3163,48	2528,38	3083,88	3548,18	2624,18	1593,68	2244,18	1471,08
20000	2861,22	2629,72	1849,62	2457,82	2689,22	2567,12	3099,12	3849,12	1513,42	2166,32	1886,32	1551,92
22500	2750,43	2436,83	2347,13	2521,73	2639,93	2629,93	3036,63	3436,43	2444,33	2314,63	2034,13	1436,43
25000	2426,69	2399,29	2240,99	2609,29	2761,99	2768,19	2812,99	2976,79	2236,79	2111,69	1440,99	1436,79
27500	1455,63	1934,43	2266,93	2890,23	2844,63	2941,23	2766,43	2836,43	2047,53	2080,03	1369,23	1583,93
30000	1441,32	1924,32	2317,82	3235,32	3310,52	2952,92	2834,12	2518,62	1859,02	1840,32	1265,02	1618,12
32500	1097,28	2106,08	2502,88	3610,28	3765,08	3118,78	2876,58	2619,58	1597,88	1699,78	1393,08	1787,18
35000	1979,21	2712,61	2680,71	4156,01	4144,61	3320,71	2917,81	2655,41	1404,71	1327,01	1226,01	1686,61
37500	1827,60	2744,20	2695,20	4251,90	3578,00	3553,20	2956,00	2627,60	1427,60	973,20	1387,10	1535,10
40000	1858,25	2461,45	2678,15	3895,75	3928,35	4095,75	3174,85	2524,85	1706,85	837,25	1205,65	1371,55
42500	1777,26	2209,96	2764,96	4190,86	3835,96	4224,26	3391,26	3061,06	1450,46	746,96	1150,96	1314,16
45000	1799,85	2654,95	2764,05	3756,95	3845,35	4275,95	3720,85	2813,25	1413,25	682,95	965,95	1046,75
47500	1755,59	3221,59	2784,89	3868,79	3581,39	4275,29	3688,79	2716,99	1132,09	708,69	984,09	1187,19
50000	1729,00	3448,70	2772,00	3910,20	3928,10	4203,90	3473,40	2833,50	1175,50	763,40	966,70	1138,40

TABLA 4.2: ALTURA CORREGIDA DE LOS PERFILES DE LOS TOPOGRÁFICOS DEL CERRO PICHINCHA

4.8.1 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO TEÓRICO DEL ÁREA DE COBERTURA.

Para realizar el cálculo teórico del área de cobertura se ha considerado, que el área a servir será la ciudad de Quito, por lo que se utilizará para la ubicación del repetidor al Cerro Pichincha, por lo que se ha tomado la altura de este cerro para los cálculos respectivos.

Considerando que el rango de frecuencias para un sistema comunal de explotación va desde 450 a 500 MHz, se realizará el cálculo una frecuencia que se encuentre dentro de este rango, (460 MHz).

La potencia del transmisor se considerará de 20 W, ya es una potencia que puede entregar el repetidor, además está dentro de las potencias autorizadas por la SENATEL y en la práctica se ha observado que la comunicación con esta potencia es optima utilizando radios móviles y portátiles.

El tipo de antena a utilizar se determina por la frecuencia de operación y la ganancia que permita tener una buena aérea de cobertura y una óptima comunicación del sistema.

La ganancia de la antena está determinada por el fabricante, el cual indicará esta característica dentro de la hoja de especificaciones, así como también el rango de frecuencias de operación, impedancia, etc.

Los parámetros que se consideraron para el cálculo del área de cobertura son los que se detallan a continuación, los cuales se han obtenido de la norma técnica, ubicación del repetidor y catálogos de equipos, que se encuentran adjuntos en el Anexo C y F, respectivamente:

Altura del transmisor sobre el nivel del mar	3770 m
Altura de la torre	20 m
Frecuencia de operación	460 MHz
Potencia del Transmisor	20 W
Potencia del Transmisor (dB)	13 dB
Ganancia de la Antena Tx	6.6 dB

4.8.2 CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Los equipos que se han escogido para el diseño son los que mejores características presentan, se encuentran disponibles en el mercado y son aprobados por la SENATEL y SUPTTEL que son los entes reguladores.

A pesar de que estos equipos presentan buenas características de operación tienen pérdidas.

A continuación se muestran las pérdidas que presentan el duplexor, líneas de transmisión y conectores (acople), que se han utilizado para el diseño de este sistema de comunicación.

Pérdidas del Sistema.

Pérdidas en la Líneas de Tx	0,83 dB/30 m
Pérdidas en el Duplexor	1,2 dB
Pérdidas de Acople	0,2 dB

a) Pérdidas en la Líneas de Tx:

En el cálculo de las pérdidas en la línea transmisión se ha considerado que la longitud de esta, es de 25 metros, medidos desde el repetidor hasta la antena.

La antena se encuentra a 20 metros sobre la torre, dejando 5 metros de holgura.

$$L_{Tx} = \frac{0.83 \text{ dB}}{30 \text{ m}} * 25 \text{ m}$$

$$L_{Tx} = 0.69 \text{ dB}$$

b) Pérdidas en el Duplexor:

$$L_{DX} = 1,2 \text{ dB}$$

c) Pérdidas de Acople:

$$L_{AC} = 2 * 0,2 \text{ dB}$$

$$L_{AC} = 0,4 \text{ dB}$$

d) Potencia Efectiva Radiada (PER):

Para este cálculo se emplea la fórmula 4.8, utilizando los valores de los literales a), b) y c) anteriormente obtenidos.

$$PER = P_{Tx} + G_{Tx} - \alpha f - aep$$

$$PER = 13.01 + 6.6 - 0,69 - 1.6$$

$$PER = 17.32 \text{ dBW}$$

$$PER = 53.93 \text{ W}$$

e) Potencia a Proteger:

Para el cálculo de la potencia a proteger se ha considerado el valor de 38.5 [dBµV/m] para la intensidad de campo mínimo a proteger o campo utilizable.

Teniendo en cuenta que es un valor normado por la SENATEL.

$$P_a = \left[\frac{En^2}{120\pi} \right] \left[\frac{\lambda^2}{4\pi} \right]$$

$$E_n = 38,5 \frac{dB\mu V}{m}$$

$$E_n = 84 \times 10^{-6} \text{ uV/m}$$

$$P_a = \left[\frac{(84 \times 10^{-6})^2}{120\pi} \right] \left[\frac{0,6667^2}{4\pi} \right]$$

$$P_a = \left[\frac{(84 \times 10^{-6})^2}{120\pi} \right] \left[\frac{0,6667^2}{4\pi} \right]$$

$$P_a = -123.34 \text{ dBW}$$

f) Pérdidas Lb(d):

$$\text{PER} - \text{Lb(d)} = P_a$$

$$\text{Lb(d)} = \text{PER} - P_a$$

$$\text{Lb(d)} = 17.32 - (-122.34)$$

$$\text{Lb(d)} = 139.66 \text{ dBW}$$

4.8.3 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Pérdidas en la Líneas de Tx	0.69 dB
Pérdidas en el Duplexor	1,2 dB
Pérdidas de Acople	0,4 dB
Pérdidas totales	2,29 dB

Potencia Efectiva Radiada (PER)	17.32 dBW
Potencia Efectiva Radiada (PER)	53.93 W
Intensidad de Campo utilizable	38,5 dB uV/m
Potencia a Proteger	- 123.34 dBW
Pérdidas Lb(d)	139.66 dB

4.8.4 DETERMINACIÓN DE RESTRICCIONES PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DE COBERTURA.

Una vez calculadas las pérdidas en un medio urbano, mediante la fórmula de Hata Ec. 4.1, se determinará el área a cubrir.

El factor, $a(h_m)$ es una corrección que depende de la altura de la antena móvil, y se lo considerará igual a cero, considerando una altura $h_m=1,5[m]$.

Esta consideración se la ha realizado tomando en cuenta la altura en el momento de utilizar un radio portátil es de aproximadamente 1,5[m], al igual que la un radio móvil.

Con lo que la expresión Ec. 4.1 se reducirá a:

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) * \log(d) [dB] \text{ Ec.4.12}$$

De la expresión 4.10 se obtiene la expresión requerida para el cálculo de la distancia de cobertura por radiales.

$$d = 10^{\frac{L_b - 69.55 - 26.16 \log(f) + 13.82 \log(h_t)}{44.9 - 6.55 \log(h_t)}} \text{ Ec. 4.13}$$

4.8.5 CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE COBERTURA EN EL RADIAL DE 0°.

- a) Las pérdidas del sistema en función de la distancia son (valores calculados en el numeral 4.82 literal f):

$$L_b(d) = 141.64 \text{ dBW}$$

- b) Frecuencia de operación, consideración realizada en el numeral 4.7.2.

$$f = 460 \text{ MHz}$$

- c) h_t , altura efectiva por radial:

$$h_t = H_{tx} + h_t - h_p \quad \text{Ec.4.14}$$

Donde:

H_{tx}: Altura del transmisor sobre el nivel del mar.

h_t: Altura de la torre sobre la cual se ubicará la antena.

h_p: Altura promedio del radial.

$$h_p = \frac{\sum_i^n H}{n} \quad \text{Ec.4.15}$$

Donde:

H: Altura corregida por cada punto del radial.

n: Número de puntos tomados por radial.

$$ht = 1021.45 \text{ [m]}$$

- d) Cálculo de la distancia de cobertura considerando los valores anteriormente calculados.

$$d = 10 \frac{141.64 - 69.55 - 26.16 - \log(450) + 13.82 * \log(920.53)}{44.9 - 6.55 * \log(920.53)}$$

$$d = 57.18 \text{ [Km]}$$

- e) El cálculo de la distancia de cobertura es repetitivo, por lo que se repetirá el proceso para cada radial restante.

4.8.6 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS DISTANCIAS DE COBERTURA POR RADIAL DEL SISTEMA

RADIAL	Altura Promedio hp(m)	Altura Efectiva ht(m)	Distancia de Cobertura (Km)
0°	2436,24	1353,76	59,31
30°	2766,52	1023,48	44,71
60°	2637,98	1152,02	50,28
90°	3247,58	542,42	25,05
120°	3270,73	519,27	24,14
150°	2918,51	871,49	38,32
180°	3136,45	653,55	29,45
210°	3480,76	309,24	15,94
240°	2259,90	1530,10	67,51
270°	3038,97	751,03	33,37
300°	3202,14	587,86	26,84
330°	2940,83	849,17	37,39

4.8.7 GRÁFICO DEL ÁREA DE COBERTURA

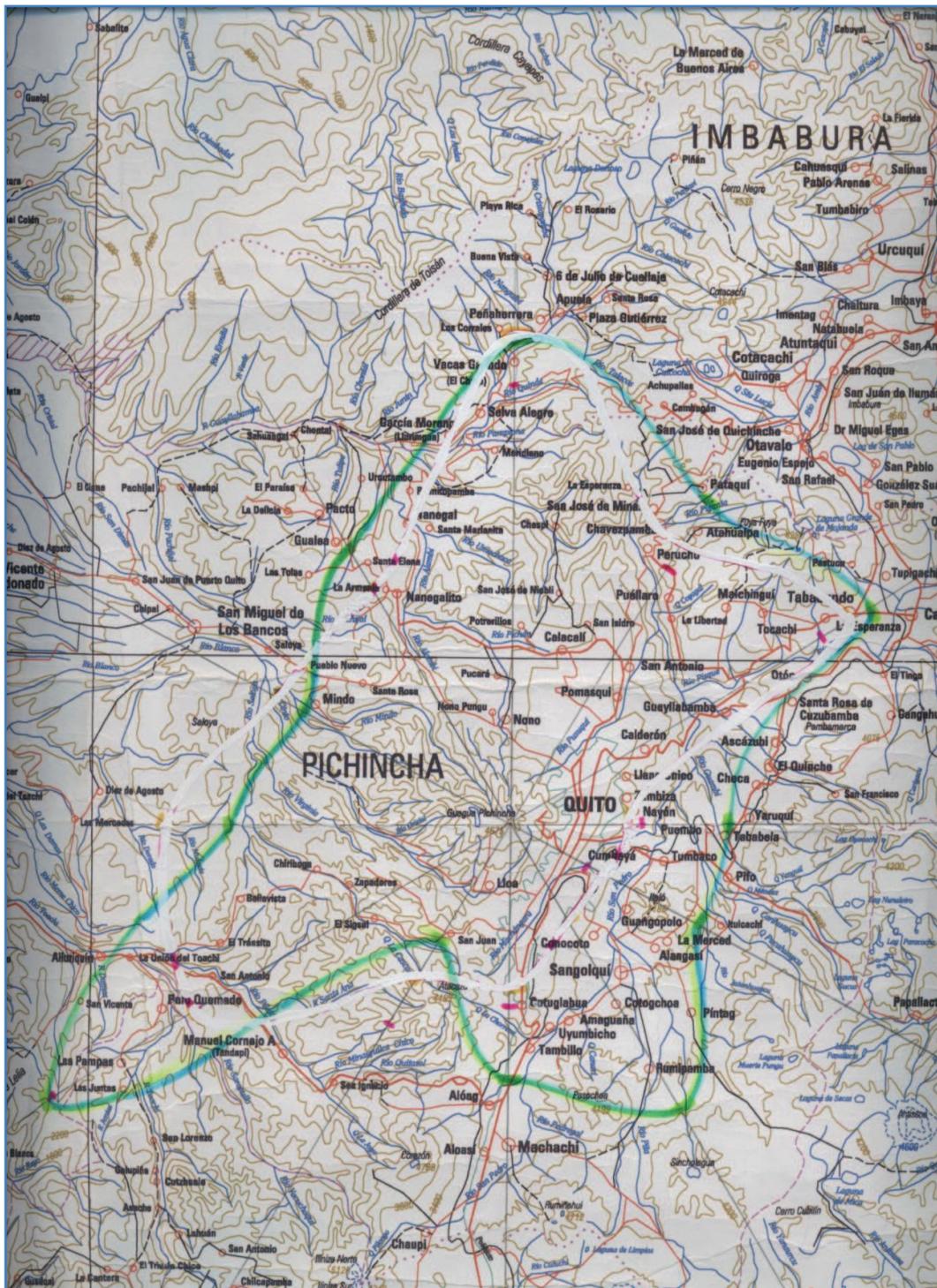


FIGURA 4.1 ÁREA DE COBERTURA

4.8.8 ENLACE REPETIDOR – ESTACIÓN FIJA

Para el cálculo del enlace se requiere de los datos de: ubicación, potencia, ganancia de las antenas tanto del transmisor como de la estación fija, los cuales se presentan a continuación en la tabla 4.2:

	Tx	Rx
Enlace:	Cerro Pichincha	Mastercom Comunicaciones
Latitud	00° 09' 57" S	00° 08' 32" S
Longitud	78° 31' 39"W	78° 29' 48" W
Altura (m)	3770	2839
Torre (m)	20	20
Frecuencia (MHz)	460	
Distancia del Enlace (m)	3320	

TABLA 4.3: DATOS PARA EL ENLACE TRANSMISOR - ESTACION FIJA.

- a) Para la corrección del perfil del enlace con factor $k=4/3$, se seguirá el mismo proceso que para los perfiles anteriores.
- b) El cálculo de la Zona de Fresnel se lo realizará tomando como punto de partida el principio de Huygens, para calcular la primera Zona de Fresnel, el espacio alrededor del eje que contribuye a la transferencia de potencia desde la fuente hacia el receptor, mediante la expresión:

$$Z = \sqrt{\lambda \frac{D_1 * D_2}{D_1 + D_2}} \quad \text{EC. 4.16}$$

Donde:

λ : lambda estará calculado para la frecuencia de operación.

- c) En los resultados mostrados en la tabla 10, se puede observar el cálculo de la línea de vista, la Zona de Fresnel positiva y negativa.

A la Zona de Fresnel se la ha denominado como Zona de Fresnel positiva o negativa, para efectos de cálculo, con respecto a la línea de vista.

Estos cálculos se los realiza con el fin de poder graficar mediante tablas de excel, para lo cual se requerirá de las siguientes expresiones:

Línea de vista.

$$L = [(h_{RX} + h_{ANT.RX}) - (h_{TX} + h_{ANT.TX})] \left(\frac{D_1}{D_1 + D_2} \right) + (h_{TX} + h_{ANT.TX}) \text{ Ec.4.17}$$

i) Zona de Fresnel positiva.

$$r = L + Z \text{ Ec. 4.18}$$

Z= radio de la Zona de Fresnel [m]

r = radio [m]

ii) Zona de Fresnel negativa.

$$r = L + Z \text{ Ec. 4.15}$$

d) Cálculo para la determinación de la Zona de fresnel.

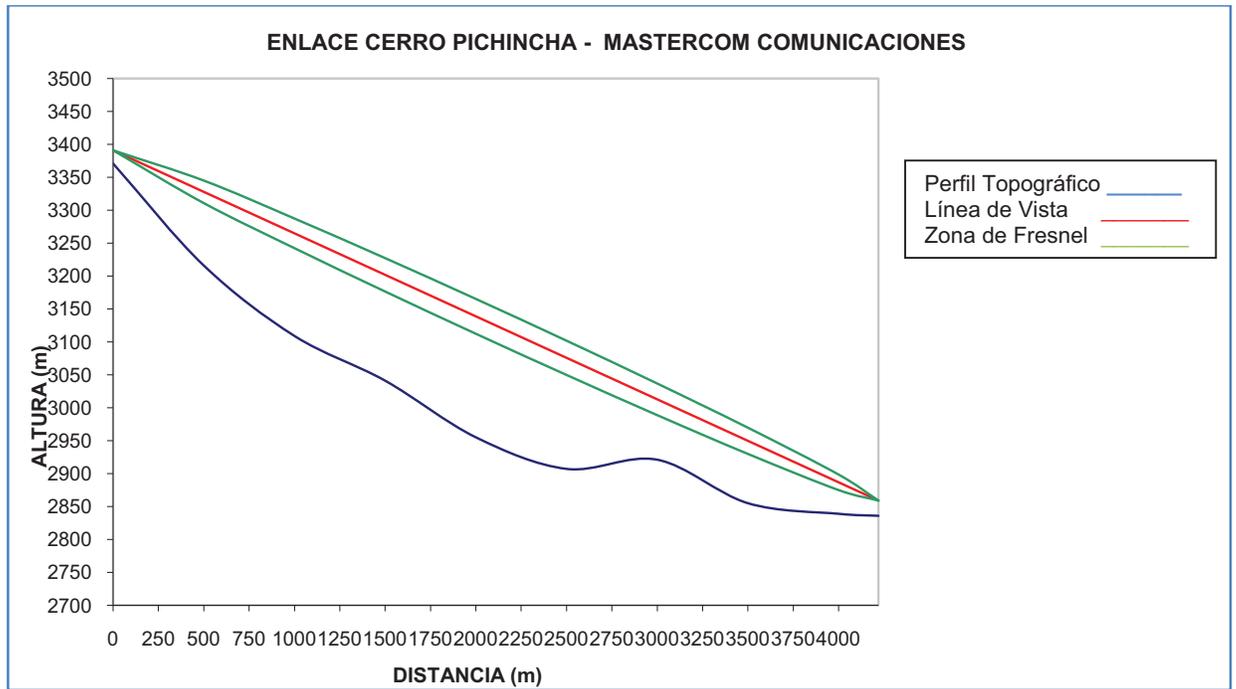


FIGURA 4.2: ENLACE REPETIDOR – ESTACIÓN FIJA

Distancia D1 (m)	Altura hx (m)	Distancia D2 (m)	Factor de altura hc (m)	Altura Corregida H (m)	Línea de Vista	Fresnell (+)	Fresnell (-)
0	3371	4220	0	3371	3391	3391	3391
500	3216	3720	0,109497645	3216,109498	3327,966825	3345,08594	3310,84771
1000	3109	3220	0,18956044	3109,18956	3264,933649	3287,45803	3242,40927
1500	3041	2720	0,240188383	3041,240188	3201,900474	3227,25497	3176,54598
2000	2955	2220	0,261381476	2955,261381	3138,867299	3165,31673	3112,41787
2500	2907	1720	0,253139717	2907,25314	3075,834123	3101,86322	3049,80503
3000	2921	1220	0,215463108	2921,215463	3012,800948	3036,815	2988,7869
3500	2855	720	0,148351648	2855,148352	2949,767773	2969,694	2929,84154
4000	2839	220	0,051805338	2839,051805	2886,734597	2898,50974	2874,95945
4220	2836	0	0	2836	2859	2859	2859

e) Cálculo del enlace repetidor – estación fija.

Los parámetros que deben considerarse para el cálculo del enlace, han sido establecidos en los numerales 4.7.2 y 4.7.3, y son:

- Frecuencia de operación:
- Potencia del transmisor.
- Ganancia de las antenas de transmisión (estación repetidora) y recepción (estación fija).
- Pérdidas en la línea de transmisión, recepción y en conectores.
- Atenuación en el espacio libre.
- Distancia del enlace.

La atenuación en el espacio libre, se la obtiene mediante la expresión:

$$L_o = 32.5 + 20 * \log f[MHz] + 20 * \log D[Km] \quad \text{Ec 4.16}$$

f: frecuencia de operación en MHz

D: Distancia del enlace en Km

A continuación se muestra el cálculo realizado para determinar la atenuación en el espacio libre.

$$L_o = 32.5 + 20 * \log(460) + 20 * \log (4.22)$$

$$L_o = 32.5 + 53.25 + 12.5$$

$$L_o = 98.26 \text{ dB}$$

La distancia del enlace se puede precisar:

Midiendo sobre la carta topográfica utilizada para obtener los perfiles, la distancia entre el repetidor y la estación fija, utilizando escalas apropiadas.

f) Cálculo de la confiabilidad del enlace:

i. Señal de recepción.

La señal de recepción no es más que es la relación la señal a ruido.

Ganancia del Sistema = Potencia del repetidor + ganancia antena Tx + ganancia antena Rx

Total de Pérdidas = Pérdidas conectores + Pérdidas Línea de Tx

Señal de recepción = Ganancia del Sistema – Total de Pérdidas

La ganancia del sistema es la suma en decibelios de la potencia del transmisor y ganancia de las antenas de transmisión y recepción.

El total de pérdidas es la suma de las pérdidas presentes en el sistema, como pérdidas en las líneas de transmisión, conectores y las pérdidas en espacio libre.

ii. Umbral de recepción.

El umbral de recepción es la sensibilidad del receptor, este es un parámetro que identifica el valor mínimo de potencia que necesita para poder recibir la señal clara.

Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio.
Valor tomado del catálogo del repetidor, ver anexo F

iii. Margen de desvanecimiento.

El margen de desvanecimiento es la diferencia en dB entre la señal de recepción y el umbral de recepción, que un receptor puede aceptar manteniendo una calidad de circuitos aceptable.

En el cuadro que se presenta a continuación, se muestra un resumen de los parámetros que determinan la confiabilidad del sistema.

Los parámetros técnicos utilizados son los mismos que para el cálculo del área de cobertura.

CALCULO DEL RADIOENLACE

Frecuencia	460 MHz
Distancia	4,22 Km
Potencia	20 W

Potencia de Transmisión	43,01 dBm
Ganancia de la Antena Tx.	6,6 dB
Ganancia de la Antena de Rx	6,6 dB
Ganancia del Sistema	56,21 dB
Pérdidas en la línea de Transmisión	-0,69 dB
Pérdidas en la línea de Recepción	-0,69 dB
Pérdidas en Conectores	-0,4 dB
Atenuación en el espacio libre	- 98,26 dB
Total Pérdidas	- 100,04 dB

Señal de Recepción	-43,83 dB
Umbral de Recepción	- 96,58 dBm

Margen de Desvanecimiento	52,7447 dBm
Confiabilidad	99,999468 %

4.9 CONCLUSIONES.

- Después de analizar las diferencias entre los Sistemas Comunales de Explotación Analógicos y Digitales, se puede observar en la figura 3.7 y en las tablas 2.5 y 3.1, que el número de usuarios que puede tener un sistema digital es 3,5 veces mayor, optimizando de esta forma el uso del espectro radioeléctrico, ya que se requerirá de menos sistemas de comunicación y con ello menos frecuencias.
- La tecnología FDMA con la que trabaja un Sistema Comunal de Explotación Analógico presenta varias desventajas, entre las que se puede mencionar que una vez que un usuario se encuentra haciendo uso del sistema ningún otro usuario puede acceder al mismo, el número de usuarios que puede manejar un sistema analógico es relativamente pequeño, a pesar de esta desventaja este tipo de sistema es muy utilizado y difundido.
- Para un sistema que trabaja con radiofrecuencia se debe considerar varios aspectos como el tipo de línea de transmisión, conectores, antenas y todos los accesorios para los cuales varían sus características dependiendo de la frecuencia de operación, tal como se puede observar en las tablas 2.2, y 2.4, donde se muestran diferentes impedancias, atenuaciones, factores de velocidad, etc., para diferentes frecuencias.
- Las estaciones móviles utilizan antenas tipo monopolo, las cuales por su estructura se acoplan directamente a la impedancia de la línea de transmisión sin necesidad de ningún elemento adicional.
- Al trabajar con tecnología TDMA en un Sistema Comunal de Explotación Digital, se aumenta e integra servicios, como mensajes de texto, servicio de localización GPS, telemetría básica, llamadas persona a persona, verificación de radio, emergencia digital, etc., incremento el área de cobertura debido a la corrección y detección de errores, tal como se

observa en la figura 3.4 y disminuye el tráfico por transmisión debido a la diversidad de servicios con los que cuenta, es decir ya no se requerirá de la retransmisión de información, si esta ha sido enviada por mensaje, ya que queda grabada en el radio igual que un mensaje de celular, pese a estas ventajas el sistema se ve afectado por un uso desordenado y caótico,

- Al tener una comunicación cuyo pago no es en tiempo aire, el costo disminuye notablemente, también dentro de este tipo de comunicación esta el envío y recepción de mensajes, sin costos adicionales.
- Para diseñar un Sistema Comunal de Explotación se debe considerar el área a cubrir, ubicación del repetidor, características técnicas de los equipos como potencia, rango de las frecuencias de operación, tipo de antenas, etc., ya que con estas características se puede realizar un correcto diseño, cubriendo las necesidades de los usuarios.

4.10 RECOMENDACIONES

- Para el diseño de un sistema de comunicaciones se debe tomar en cuenta las recomendaciones, normas técnicas y reglamentos de los entes reguladores.
- Utilizar los accesorios correctos de acuerdo a la frecuencia de operación.
- Para hacer un uso correcto de los Sistema Comunales de Explotación tanto Analógicos como Digitales es capacitar a las personas que operarán los equipos de comunicación.
- A cada usuario se debe asignar un código de usuario para poder identificarlo y así evitar el mal manejo de los equipos.
- Se debe tener un cronograma de actividades en cuanto al mantenimiento correctivo preventivo del sistema para evitar perder la comunicación.
- A pesar de que en un Sistema Digital el ahorro de dinero se ve reflejado al incrementar la producción, disminuir los gastos por pérdidas, pago de licencias y permisos de operación y concesión de frecuencias, los equipos digitales son más costos.

Es por esto que se debe considerar las aplicaciones requeridas y el número de usuarios e incremento de los mismos, ya que este tipo de sistemas resultaría sumamente costoso, si se tratara de un sistema con convencional y de pocos usuarios.

En el anexo G se puede observar el costo de algunos equipos analógicos y digitales.

4.11 BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

1. HERNANDO José María, Transmisión por Radio, Segunda Edición, Pág. 501 – 639
2. GARCÍA DOMÍNGUEZ A, Cálculo de antenas, Segunda Edición, Pág. 49 – 54
3. ING. ROBLES JOSÉ, Radioenlace Analogical, Folleto, UTECI, 2007

INTERNET

4. SISTEMA COMUNAL

http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=169:sistemas-comunales-de-explotacion&catid=40:requisitos&Itemid=166

5. CANALIZACIÓN Y BANDAS DE FRECUENCIA

http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=112%3Areglamento-y-norma-tecnica-para-los-sistemas-comunales-de-explotacion&catid=49%3Aregulacion-de-servicios&Itemid=104&limitstart=8

6. ANTENAS

http://www.carlosmezquida.com/word/wp.../Pagina_2_CAPITULO3.pdf

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/sanchez_i_d/capitulo3.pdf

7. REQUISITOS PARA LA CONCESIÓN DE FRECUENCIAS

http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=169%3Asistemas-comunales-de-explotacion&catid=40%3Arequisitos&Itemid=166&limitstart=1

8. FORMULARIOS PARA LA CONCESIÓN DE FRECUENCIAS.

http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&catid=40%3Arequisitos&id=170%3Aformularios-para-concesion-de-frecuencias&Itemid=166

9. <http://www.supertel.gov.ec/>

10. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS RADIOS DIGITALES.

http://developer.motorola.com/docstools/developerguides//MOTOTRBO_ADK_Overview.pdf

http://www.motorolaradiosolutions.com/es/linea_productos/mototrbo_radios_digitales

<http://www.exellcom.net/prod07.htm>

11. MODELO DE CALCULO DEL ÁREA DE COBERTURA DE OKUMURA – HATA

http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/...c.../capitulo7.pdf

12. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ANTENAS, DUPLEXOR Y
CONECTORES.

<http://www.decibelproducts.com>

13. RADIO MÓVIL DIGITAL

<http://www.walkies.es/usosybandas.htm#DMR>