

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**



**PROYECTO DE GRADO:**

**Nivel licenciatura**

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA MÓVIL GSM PARA  
TIGO EN EL MUNICIPIO DE SANBUENAVENTURA EN EL  
DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

**POSTULANTE: UNIV. WILMER SALAZAR LUNA**

**DOCENTE TUTOR: LIC. GUIDO CASTRO**

**LA PAZ – BOLIVIA**  
**2017**

## INDICE

### CAPITULO I

1.1.	ANTECEDENTES	1.
1.2.	UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS DE LA REGION	2.
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3.
1.4.	ALCANCÉ DEL PROYECTO DE GRADO	3.
1.5.	OBJETIVOS	4.
1.5.1.	Objetivo general	4.
1.5.2.	Objetivos específicos	4.
1.6.	JUSTIFICACIÓN	4.
1.6.1.	Justificación social	4.
1.6.2.	Justificación tecnológica	5.
1.6.3.	Justificación económica	5.

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL	6.
2.1.1.	Elementos de un sistema celular	6.
2.2.	CONCEPTO CELULAR	7.
2.2.1.	Celda	8.
2.2.2.	Niveles celulares	8.
2.3.	Reutilización de frecuencias	9.
2.4.	ASIGNACIÓN DE CANALES	11.
2.5.	CONSECUENCIAS DE LA MOVILIDAD	12.
2.5.1.	Localización	12.
2.5.2.	Handover	13.
2.5.3.	Roaming	16.
2.6.	INTERFERENCIAS Y CAPACIDAD DEL SISTEMA	17.
2.6.1.	Interferencias co-canal y capacidad de sistema	17.

2.6.2. Interferencias entre canales adyacentes	18.
2.6.3. Control para reducir las interferencias	19.
2.7. DIVISIÓN DE CELULAS	19.
2.8. GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS)	20.
2.8.1. Banda de frecuencias	21.
2.8.2.1. <b>GSM modo extendido</b>	<b>23.</b>
2.8.2.2. <b>GSM – 1800</b>	<b>24.</b>
2.9. ARQUITECTURA GSM	26.
2.10. MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO MINIMO MSK ("Minimum Shift Keying")	28.
2.10.1. MODULACIÓN GMSK	31.
2.10.2. FRECUENCIA	33.
2.11. INTERFAZ DE RADIO EN GSM	34.
2.11.1. Acceso a sistemas truncados	34.
2.11.2. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	35.
2.11.3. Acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA)	35.
2.11.4. Acceso múltiple por división del espacio (SDMA)	37.
2.11.5. Acceso múltiple por división de código (CDMA).	37.
2.11.6. Acceso múltiple por saltos de frecuencia (FHMA)	40.
2.11.7. Tipos y formatos de ráfagas	40.
2.11.7.1. <b>Ráfagas de acceso AB (ACCESS BURST)</b>	<b>41.</b>
2.11.7.2. <b>Ráfagas de corrección de frecuencia FB (FREQUENCY CORRECTION BURST)</b>	<b>41.</b>
2.11.7.3. <b>Ráfagas de sincronización SB (SYNCHRONIZATION BURST)</b>	
2.11.7.4. <b>Ráfagas de relleno DB (DUMMY BURST)</b>	<b>42.</b>
2.11.7.5. <b>Ráfagas normales NB (NORMAL BURST)</b>	<b>43.</b>
2.11.8. Correspondencia canales lógicos – canales físicos	45.
2.11.8.1. <b>Canales comunes</b>	<b>45.</b>
2.11.8.2. <b>Canales dedicados</b>	<b>45.</b>
2.11.9. Estructura de las multitramas	46.

2.11.9.1. Supertramas e hipertrama	46.
<b>2.12. SISTEMA DE ENERGIA PARA ALIMENTAR UN EQUIPO</b>	<b>47.</b>
<b>2.13. ATERRAMIENTO</b>	<b>48.</b>

### **CAPITULO III**

#### **AMBITO DEL PROYECTO**

I. DIAGNOSTICO MUNICIPAL	51.
3.1. ASPECTOS ESPACIALES	51.
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	51.
3.1.1.1. Latitud y Longitud	51.
3.1.1.2. Límites territoriales	51.
3.2. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA	52.
3.2.1. Cantones del municipio	52.
3.2.2. Comunidades y Centros Poblados	53.
3.2.3. Uso y ocupación del espacio	56.
3.3. DEMOGRAFÍA	58.
3.3.1. Aspectos poblacionales.	58.

### **CAPITULO IV**

#### **MARCO PRÁCTICO**

4. INTRODUCCION	60.
4.1. FASES DEL PROCESO	60.
4.2. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS CELULARES	62.
4.2.1. Tráfico celular	62.
4.3. DISEÑO DE LA RED RADIO CELULAR	63.
4.3.1. Consideraciones generales	63.
4.3.2. Escenarios de cobertura	64.
<b>4.3.2.1. Diseño en entornos rurales</b>	<b>64.</b>
<b>4.3.2.2. Diseño en entornos urbanos</b>	<b>65.</b>
4.4. MÉTODOS DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDA BÁSICA EN MEDIO URBANO (ENLACE PUNTO - PUNTO, PUNTO - MULTIPUNTO)	66.

4.4.1. Zona de Fresnel	66.
4.4.2. Distancia	68.
4.4.3. Azimut	68.
4.4.4. Angulo de elevación	69.
4.4.5. Pérdida de espacio libre (PEL)	69.
4.4.6. Margen de desvanecimiento	70.
4.4.7. Ganancia de antena	71.
4.4.8. Perdida por acoplamiento	71.
4.4.8. Perdida del cable	71.
4.4.9. Perdida por difracción	72.
4.4.10. Perdida de atenuación por llluvias	73.
4.4.11. Pérdida total del trayecto	75.
4.4.12. Ganancia total	75.
4.4.13. Ganancia del sistema	75.
4.4.14. Potencia de ruido	76.
4.4.15. Potencia de recepción en espacio libre	76.
4.4.16. Potencia mínima de portadora	76.
4.4.17. Relación portadora a ruido	76.
4.4.18. Relación portadora mínima a ruido	77.
4.4.19. Relación portadora sensibilidad a ruido	77.
4.4.20. Margen de umbral	77.
4.4.21. Probabilidad de servicio	78.
4.4.22. Método Okumura	80.
4.4.23. Método de Okumura – Hata	80.
4.4.24. Método COST 231 (EXTENCIÓN HATA)	83.
4.4.24.1. Balances de enlaces	84.
<b>4.4.24.2. Potencia umbral</b>	<b>84.</b>
<b>4.4.24.3. Márgenes</b>	<b>85.</b>
<b>4.4.24.4. Potencia Isotrópica y campo mediano en recepción</b>	<b>86.</b>
<b>4.4.24.5. Potencia Isotrópica radiada equivalente</b>	<b>87.</b>
<b>4.4.24.6. Ecuación de balance y pérdida compensable</b>	<b>87.</b>

4.4.25. Planificación de frecuencias	88.
4.5. MODELO DE TRÁFICO	91.
4.5.1. Cálculos de tráfico y radio celular	92.
4.5.2. Tráfico telefónico particular	95.
4.5.3. Tráfico de señalización	97.
<b>4.5.3.1. Tasas de señalización común</b>	<b>97.</b>
4.6. MODELO DE MOVILIDAD	100.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS DE MERCADO**

5. INTRODUCCION	103.
5.1. ANALISIS PRELIMINAR	106.
5.2. DISEÑO DE LAS ESTACIONES BASE	109.
5.3. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE DEMANDA	110.
5.4. CÁLCULO DEL NÚMERO Y CAPACIDAD DE ESTACIONES BASE	110.
5.5. ENLACE PUNTO A PUNTO	112.
5.5.1. Enlace Ixiamas– repetidora	112.
5.5.2. Enlace Repetidora – San Buenaventura	123.
5.5.3. Enlace punto a multipunto	134.
5.6. PANEL SOLAR	153.
5.7. SISTEMAS DE TIERRA	153.
5.8. VALLADO DE LA BTS	154.
5.9. OBRA CIVIL DEL SITIO	154.

## **CAPITULO VI**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

6.1. ACTIVOS	155.
6.2. PASIVOS	156.
6.3. INGRESOS	157.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1. CONCLUSIONES

158.

7.2. RECOMENDACIONES

## CAPITULO I

### 1.7. ANTECEDENTES

La tecnología GSM es la más utilizada del mundo, con presencia en más de 210 países esta es usada por cerca de 1.369 millones de usuarios, que representan el 74% de los usuarios de telefonía inalámbrica en el mundo.

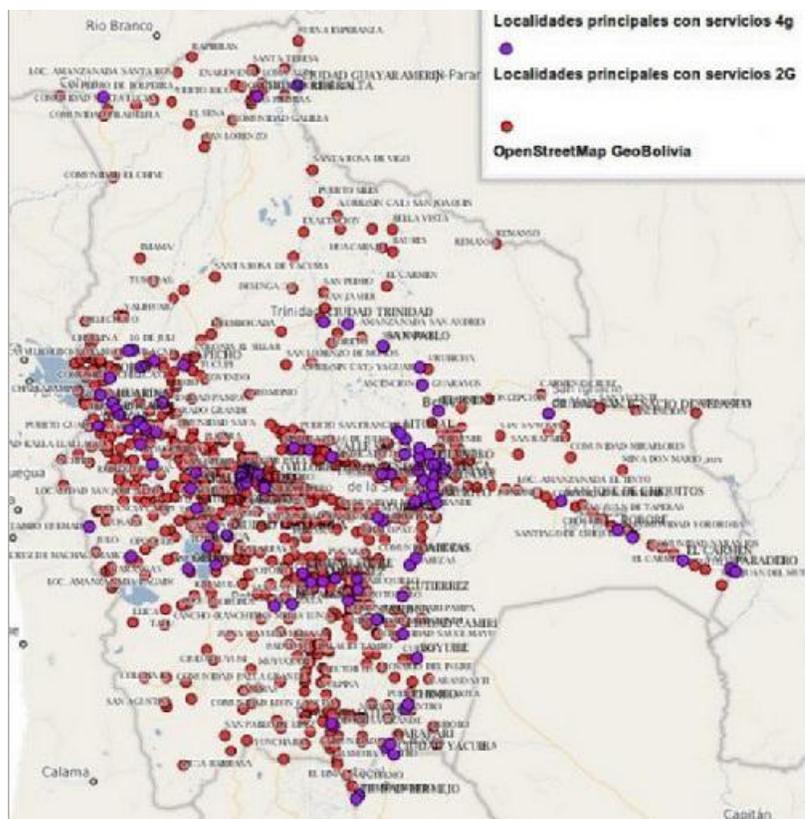
Es una tecnología inalámbrica de segunda generación de telecomunicaciones que brinda servicios de alta calidad de voz y datos. Tiene grandes sistemas y baja interferencia radial, permitiendo el acceso de hasta 100 mil usuarios por kilómetro cuadrado de superficie.

En el 2015 la Autoridad de Fiscalización y Regulación de Telecomunicaciones y Transportes (ATT) informó que en Bolivia hay 13,8 millones de celulares registrados, para las empresas de telecomunicaciones tener un área de cobertura amplia su mercado con el propósito de ofrecer un servicio de calidad y mayor cobertura. Gracias a la facilidad de conseguir un dispositivo móvil (celular) se hace más sencilla la comunicación, así un 85% de personas en el país posee dicho dispositivo.

En cuanto a la participación de los operadores en el mercado, Entel tiene el liderazgo con el 43,3%, seguido de Tigo con un 32% y Viva con el 24%.<sup>1</sup>

Las 3 empresas tienen un 75% de cobertura en toda Bolivia.

**FIGURA N° 1**  
**COBERTURA POR LAS 3 EMPRESAS A NIVEL NACIONAL<sup>2</sup>**



La zona en que se realizara el proyecto es en la localidad de Sanbuenaventura, que se encuentra ubicada en el departamento de La Paz, misma que carece del servicio de operador de TIGO S.A.

### **1.8. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA REGION**

El Municipio de San Buenaventura se encuentra ubicado al norte del Departamento de La Paz y pertenece a la Provincia Abel Iturralde. Su capital, el centro poblado de San Buenaventura, se encuentra a 481 km. de la ciudad de La Paz.

<sup>2</sup> FUENTE: <http://www.ajayu.org/index.php?topic=3825.0>



Si bien la actividad productiva y agropecuaria en el municipio se ha desarrollado progresivamente, es importante resaltar que muchos servicios no han llegado al municipio, el constante crecimiento y la construcción del ingeniero azucarero en la zona han generado alta demanda de servicios de comunicaciones.

### **1.9. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Hoy en día y a partir del crecimiento poblacional de la zona existe alta demanda insatisfecha de servicio de telefonía móvil y de datos en el municipio de San Buenaventura?

### **1.10. ALCANCÉ DEL PROYECTO DE GRADO**

- El estudio comprende todo el diseño y dimensionamiento, la ubicación de equipos.
- Análisis de costos de los equipos necesarios para su implementación.

- El proyecto podrá servir para replicar estudios posteriores de implementación GSM en poblaciones similares.

## **1.11. OBJETIVOS**

### **1.11.1. Objetivo general**

- Diseñar una red inalámbrica enmarcada en la perspectiva local del mercado, basada en una red GSM en áreas rurales caso: Municipio de Sanbuenaventura.

### **1.11.2. Objetivos específicos**

- Determinar la capacidad de tráfico requerido en base a los datos geográficos de la zona, a fin de satisfacer la demanda actual y futura de la localidad.
- Determinar un aproximado de tránsito entre celdas por usuarios potenciales.
- Realizar un estudio de rutas alternas para llegar a la población del municipio de Sanbuenaventura con el uso de repetidoras.
- Estudio de mercado
- Estudio de equipos requeridos según las características del radio enlace

## **1.12. JUSTIFICACIÓN**

### **1.12.1. Justificación social**

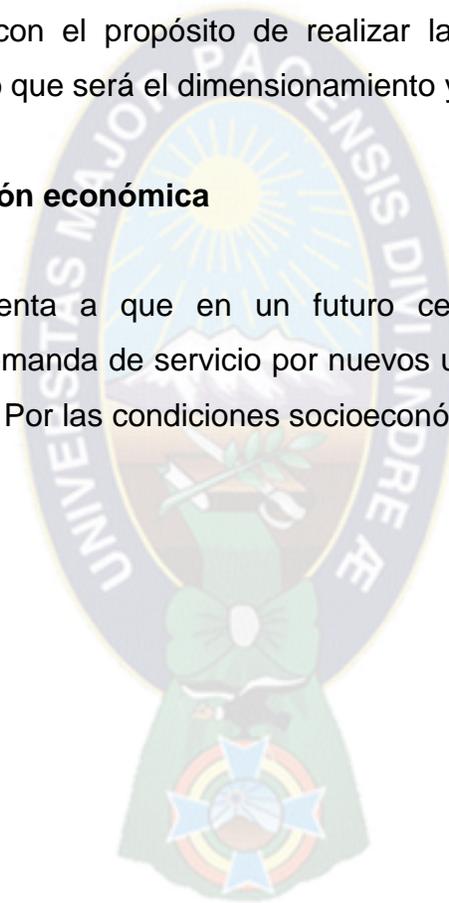
- El presente proyecto permitirá tener acceso al servicio de telefonía móvil y datos en el municipio de Sanbuenaventura.

### **1.12.2. Justificación tecnológica**

- La tecnología GSM es de las más usadas en el mundo, es por esto que se debe tener una buena señal y cobertura para que los usuarios estén en constante contacto, existen muchas zonas potenciales en el país las cuales carecen del servicio. En este proyecto se considerara el municipio de Sanbuenaventura en el departamento de La Paz, la cual no posee el servicio de móvil GSM por la empresa TIGO, con el propósito de realizar la dicha planificación para esta localidad desde lo que será el dimensionamiento y diseño de la red.

### **1.12.3. Justificación económica**

- Teniendo en cuenta a que en un futuro cercano la localidad tendrá un crecimiento de demanda de servicio por nuevos usuarios o nuevos servicios que se pueda brindar. Por las condiciones socioeconómicas de la zona.



## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.12. LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

Los sistemas de comunicación móviles son para prestar los servicios de telecomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrenas fijas, o entre dos estaciones móviles. (www.google.com.=celdas+telecomunicaciones)

Existen dos formas de comunicación móvil:

- **Comunicación inalámbrica.-** El área de cobertura de esta tecnología es muy limitada, los equipos móviles y las estaciones de transmisión – recepción deben encontrarse en zonas geográficas muy cercanas.
- **Comunicación celular.-** Posee una red definida que incluye protocolos para establecer y despejar llamadas así como rastrear las unidades móviles en zonas geográficas definidas que llevan el nombre de células, así mismo dan el nombre a la tecnología. Debido a que los sistemas celulares trabajan con mayor potencia que los inalámbricos, el área de cobertura es mucho más extenso, siendo el tamaño de las células tomadas en kilómetros. (www.google.com.=celdas+telecomunicaciones)

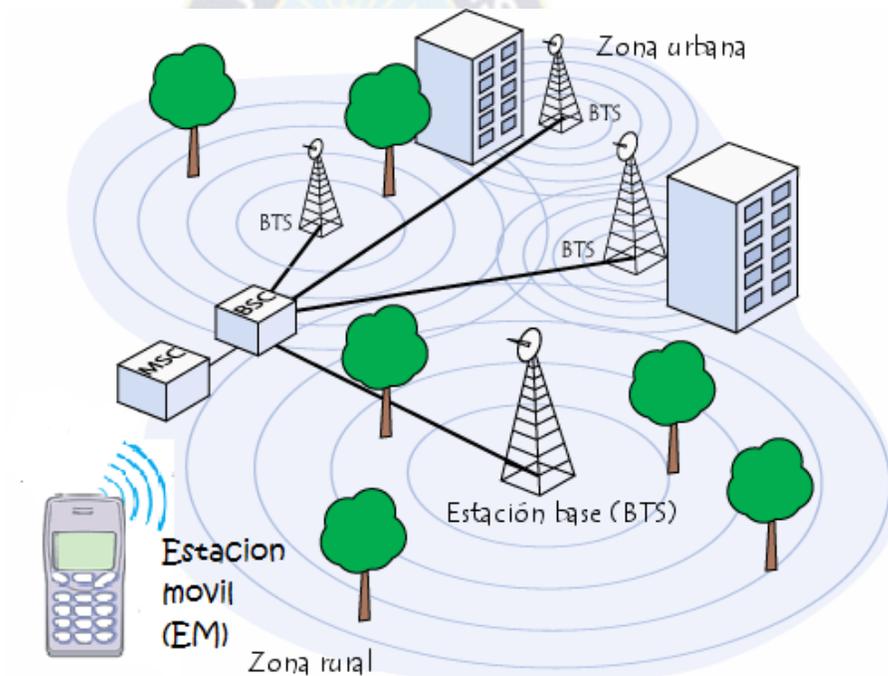
#### 2.12.1. Elementos de un sistema celular

Los elementos necesarios en un sistema que soporta comunicación móvil:

- **Estación Base (BTS):** Son estaciones fijas que pueden ser controladas por una unidad de control.
- **Estación de Control (MCS):** Son estaciones fijas que controlan automáticamente las emisiones o el funcionamiento de otra estación fija.

- **Estación móvil (EM):** Es una estación dotada de movilidad.
- **Las Células:** Son las distintas aéreas geográficas en las que se divide el área total que pretende cubrir el sistema.  
([www.google.com](http://www.google.com).=[celdas+telecomunicaciones](#))

**FIGURA N° 2**  
**ELEMENTOS DE UN SISTEMA CELULAR**



FUENTE: [www.monografias.com/trabajos102/tecnologias-de-comunicacion/img12.png](http://www.monografias.com/trabajos102/tecnologias-de-comunicacion/img12.png)

### 2.13. CONCEPTO CELULAR

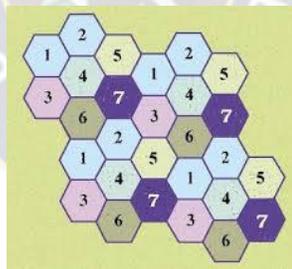
Cuando la telefonía móvil dejó de tener una sola estación base por red para migrar a la telefonía celular, se corrigieron muchos problemas. Las claves para este concepto fueron develadas en 1947 por investigadores de los laboratorios Bell y otras compañías de telecomunicaciones. Se determinó que si se subdividía un área geográfica relativamente grande, -llamada zona de cobertura- en

secciones más pequeñas -llamadas celdas- el concepto de reutilización de frecuencias podría ser empleado para incrementar considerablemente la capacidad del canal. ([www.tecnologias-0-comunicacion/img17.png](http://www.tecnologias-0-comunicacion/img17.png))

### 2.13.1. Celda

Una celda es una zona geográfica de cobertura proporcionada por una estación base. Es representada por un hexágono que se une con otras para formar un patrón tipo enjambre. La forma hexagonal fue escogida porque provee la transmisión más efectiva al aproximarla con una forma circular y permite unirse a otras sin dejar huecos. Una celda se define por su tamaño físico, pero más importante por su cantidad de tráfico y población que exista en ella. El número de celdas por sistema no está especificado y depende del proveedor del servicio y de los patrones de tráfico que presente en su red.

**FIGURA N° 3**  
**CELDAS DE LA TELEFONIA MOVIL**



FUENTE: [www.google.com.bo/search?q=celdas+telecomunicaciones](http://www.google.com.bo/search?q=celdas+telecomunicaciones)

### 2.13.2. Niveles celulares

Son 4 los niveles celulares:

Picoceldas:

- Este tipo de celdas tiene una cobertura de 20 a 400 m a la redonda.
- Usualmente son internas a edificios.

Microceldas:

- Este tipo de celdas tiene una cobertura de 400m a 2 Km a la redonda.
- Frecuentemente usadas en ciudades.
- Potencias de 0.1 a 1 watt.

Macrocelas:

- Este tipo de celda tiene una cobertura de 2 Km a 20 Km a la redonda.
- Usualmente en zonas urbanas.
- Potencia que varía de 1 a 20 watts.

Comunidad Global:

- En todo el mundo.

## 2.14. Reutilización de frecuencias

Cuando se diseña un sistema usando celdas hexagonales, existen dos casos: en el primero los transmisores de la estación base se coloca en el centro de la celda normalmente se usan antenas omnidireccionales, en el segundo caso los transmisores son colocados en tres de los seis vértices usando antenas sectorizadas. Esta sectorización es una forma de subdividir la celda y alcanzar una mayor capacidad. Es muy común sectorizar la celda en lugares donde la densidad de población sea alta.

La reutilización de frecuencias se puede representar matemáticamente:

$$F = GN$$

**Ecuación 1**

Donde F es el número de canales disponibles *full-duplex*<sup>3</sup> en el *cluster*<sup>4</sup>, G es el número de canales en una celda y N es el número de canales en el *cluster* o el factor de reutilización de frecuencia.

Se denomina *cluster* a las celdas que colectivamente usan un conjunto de canales disponibles. No es posible dar cualquier valor arbitrario a N esto es por la geometría de las celdas. Los valores más comunes son el 3 y el 7.

Cuando un *cluster* es multiplicado m veces dentro de un sistema, el número total de canales *full-duplex* puede expresarse de la siguiente forma:

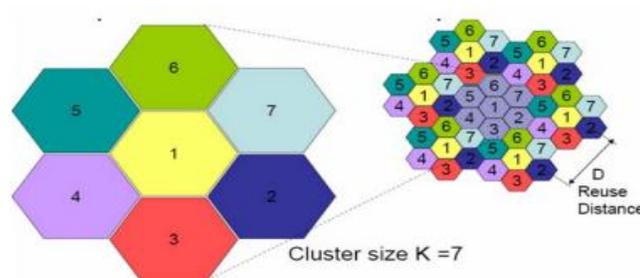
$$C = mGN$$

**Ecuación 2**

Donde C representa la capacidad del canal y m el número de *clusters*. Se puede apreciar la capacidad del canal cuando es directamente proporcional al número de veces que un *cluster* es multiplicado.

**FIGURA N° 4**

**EJEMPLO DE REUTILIZACION DE FRECUENCIAS CON FACTO 7**



FUENTE: [departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion\\_telecomunicaciones](http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones)

Mientras mayor sea el factor de reutilización, mayor es la separación entre celdas y menor es la interferencia, pero se tiene menor capacidad o se debe tener más espectro para mantener una capacidad dada.

## **2.15. ASIGNACIÓN DE CANALES**

Para la utilización eficiente del espectro de radio, se requiere un sistema de reutilización de frecuencias que aumenten la capacidad y minimice las interferencias. Las estrategias de asignación de canales se pueden clasificar en fijas o dinámicas. La elección de la estrategia de asignación de canales impondrá las características del sistema, particularmente, en cómo se gestionan las llamadas cuando un usuario pasa de una celda a otra (*handover*).

En la asignación fija, a cada celda se asigna un grupo predeterminado de canales. Cualquier llamada producida dentro de la celda, solo puede ser servida por los canales inutilizados dentro de esa celda. En caso de que todos los canales de esa celda se hallen ocupados, la llamada es bloqueada y el usuario no recibe el servicio. Existen algunas variantes en esta estrategia de asignación, una de ellas es que permite que una celda vecina preste canales si es que tuviera todos sus canales ocupados. El Centro de Conmutación (MSC) se encarga de supervisar que estos mecanismos de préstamo no interfieran con ninguna llamada en progreso de la celda donadora.

Para una estrategia de asignación dinámica, los canales no se quedan permanentemente en una sola celda, en su lugar, en el momento cuando se requiere el servicio de llamada la estación base servidora pide un canal al centro de conmutación (MSC). El cual coloca un canal en la celda que lo pidió siguiendo un algoritmo que tiene en cuenta diversos factores como son las frecuencias del canal a pasar, distancia de reutilización, y otras funciones de coste.

## 2.16. CONSECUENCIAS DE LA MOVILIDAD

### 2.16.1. Localización

La movilidad de los usuarios en un sistema inalámbrico es la gran diferencia con el de la telefonía fija. Una red puede enrutar a una llamada hacia un usuario fijo con solo saber su dirección de red, en este caso el número de teléfono, dado que el conmutador local, al cual se conecta directamente la línea del abonado, no cambia. Mientras en un sistema celular la celda en la que se debe establecer el contacto con el usuario cambia cuando este se encuentra en movimiento. Para recibir llamadas, primeramente se debe ubicar al usuario móvil, seguidamente el sistema debe determinar en qué celda se encuentra actualmente.

Se usan tres métodos diferentes para la gestión de localización:

- En el primer método la estación móvil (EM) indica cada cambio de celda que hace a la red, a esto se llama actualización sistemática de localización al nivel de la celda. Cuando una llamada esta entrante, se necesita enviar un mensaje de búsqueda solo a celda donde se halle el móvil, ya que esta es conocida.
- En el segundo método se envía un mensaje de página a todas las celdas de la red cuando una llamada es entrante, evitando que el móvil este indicando continuamente su posición a la red.
- En el tercer método es un compromiso entre los dos primeros introduciendo el concepto de área de localización. Un área de localización es un grupo de celdas, cada una de ellas pertenecen a un área de localización simple. La identidad del área de localización a la que una celda pertenece se envía a través de un canal de difusión (*broadcast*),<sup>5</sup> permitiendo a las estaciones móviles (EM) saber el área de localización en la que se encuentran a cada momento. Cuando una estación

móvil (EM) cambia de celda se presentan dos casos: ambas celdas están en la misma área de localización, provocando que la estación móvil no envíe ninguna información a la red. Las celdas pertenecen a diferentes áreas de localización, la estación móvil informa a la red de su cambio de área de localización.

### **2.16.2. Handover**

El procedimiento de Handover (función de traspaso) se puede llevar a cabo por diferentes motivos:

- 1) Cuando una estación móvil se encuentra en movimiento dentro de un área de localización o área de cobertura de una celda, la llamada es transferida a la segunda celda con la finalidad de evitar la terminación de la llamada cuando la estación móvil sale de la zona de la primera celda.
- 2) Cuando la capacidad para la conexión de nuevas llamadas de una determinada celda se está utilizando y una existente o nueva llamada esta entrante, que se encuentra en una zona superpuesta a otra celda, se transfiere a esta celda con el objeto de liberar cierta capacidad en la primera celda para otros usuarios, que solo pueden ser conectados a esta celda.
- 3) En redes que no sean CDMA (acceso múltiple por división de código), cuando el canal usado por la estación móvil pasa a ser interferido por otra estación móvil utilizando el mismo canal en una celda diferente, la llamada es transferida a un canal diferente en la misma celda o aun canal diferente en otra celda, para evitar la interferencia.
- 4) En redes que no sean CDMA, cuando los cambios de comportamiento del usuario, por ejemplo, un viaje rápido del usuario, conectado a una celda grande, si se detiene, la llamada puede ser transferida a una macrocelda más pequeño o a una microcelda con el fin de liberar capacidad de la celda, por otros usuarios

que se mueven también rápidamente y reducir las posibilidades de interferencia a otras células o usuarios (esto también funciona en sentido inverso, cuando un usuario detecta que se desplaza más rápido que un determinado umbral, la llamada puede ser transferida a una celda más grande, con el fin de minimizar la frecuencia de *handoffs*<sup>6</sup> a este movimiento).

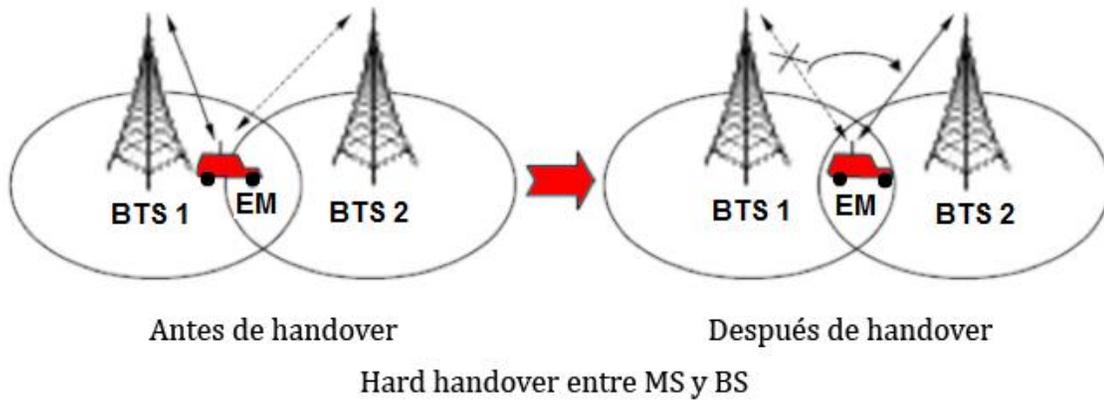
**FIGURA Nº 5**  
**GRAFICO REPRESENTATIVO CUANDO SE REALIZA EL TRASPASO DE UNA SEÑAL EN HANDOVER**



FUENTE: <https://es.wikipedia.org/wiki/Handover>

Durante el proceso de *Handover*, se desconecta de esta por un tiempo (en base a milisegundos) no está conectado a ninguna otra estación base. Mediante este procedimiento, se usa un solo canal. De este modo la conexión con la estación base origen se corta antes de realizar la nueva conexión a la nueva estación base.

**FIGURA N° 6**  
**ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE HARD-HANDOVER**

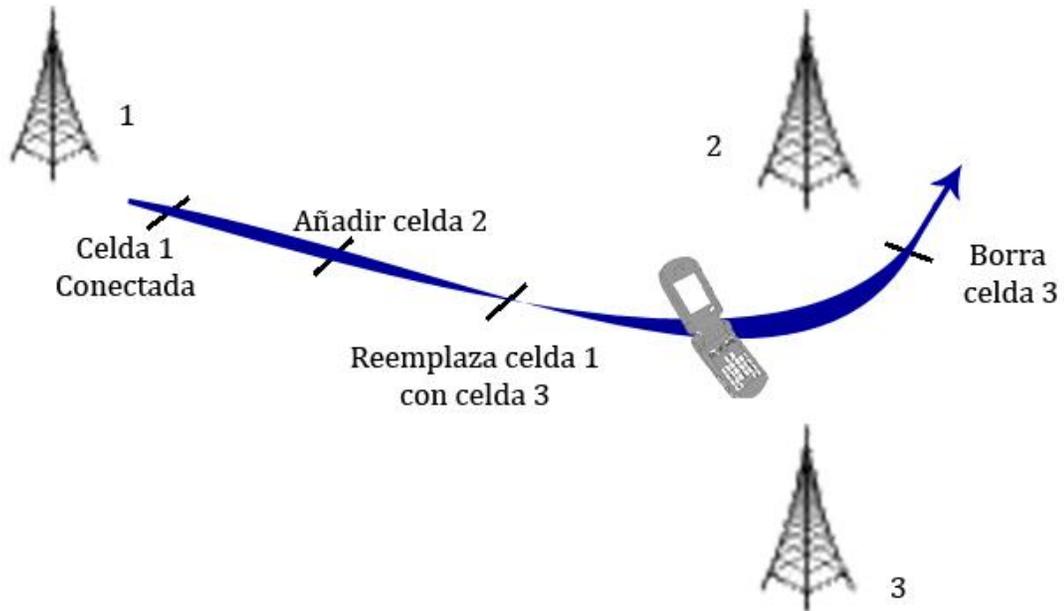


FUENTE: <https://es.wikipedia.org/wiki/Handover>

Durante este proceso, la transmisión se realizara en paralelo por los dos canales, es decir, no se produce interrupción en el enlace.<sup>7</sup>

Se asegura la conexión con la estación base de la nueva celda antes de cortar la conexión con la antigua.

**FIGURA N° 7**  
**ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE SOFT-HANDOVER**



FUENTE: <https://es.wikipedia.org/wiki/Handover>

### 2.16.3. Roaming

Cuando cooperan diferentes operadores de red, pueden usar esta posibilidad para ofrecer a los abonados una cobertura mucho mayor que cualquiera de ellos pudieran ofrecer por sí mismos. A esto se denomina “*roaming*”.<sup>8</sup>

El *roaming* (Función de seguimiento) se puede proporcionar, solo si se dan una serie de acuerdos administrativos y técnicos.

## 2.17. INTERFERENCIAS Y CAPACIDAD DEL SISTEMA

Las interferencias en canales de voz causan “*cross-talk*”,<sup>9</sup> consiste en que el abonado escucha interferencias de fondo debido a una transmisión no deseada. Sobre los canales de control, las interferencias provocan llamadas perdidas o bloqueadas debido a errores de señalización digital. Las interferencias son responsables de formar el cuello de botella en la capacidad y de la mayoría de las llamadas entrecortadas. Los dos principales tipos de interferencia son las interferencias co-canal y las interferencias de canales adyacentes.

### 2.17.1. Interferencias co-canal y capacidad de sistema

Estas celdas son llamadas celdas co-canales, y la interferencia entre las señales se llama interferencias co-canal. Al contrario que el ruido térmico, que se puede superar aumentando la relación señal ruido (SNR), la interferencia co-canal no puede ser combatida solo incrementando la potencia de portador de un transmisor. Esto se debe a que un incremento en la potencia de portador de transmisión de una celda, incrementa la interferencia hacia las celdas co-canales vecinas. Para reducir la interferencia co-canal las celdas co-canales, deben estar físicamente separadas por una distancia mínima que proporcione el suficiente aislamiento debido a las pérdidas en la propagación.

En un sistema inalámbrico, cuando el tamaño de cada celda es aproximadamente el mismo, la interferencia co-canal es aproximadamente independiente de la potencia de transmisión y se convierte en una función de la radio de la celda (R), y de la distancia al centro de la celda co-canal más próxima (D). Incrementando la relación D/R, se incrementa la separación de celdas co-canales relativa a la distancia de cobertura. El parámetro Q, llamado factor de reutilización co-canal, está relacionado con el tamaño del *cluster* N. Para una geometría hexagonal sería:

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

### Ecuación 3

Un valor pequeño de Q proporciona una mayor capacidad dado que el tamaño del *cluster* N es pequeño, mientras que un valor de Q grande mejora la calidad de la transmisión, debido a que es menor la interferencia co-canal. Se debe llegar a un compromiso entre estos dos objetivos a la hora del diseño.

#### 2.17.2. Interferencias entre canales adyacentes

Estas interferencias son producidas por la imperfección de los filtros en los receptores que permiten a las frecuencias cercanas colarse dentro de la banda pasante. El problema puede ser particularmente serio si un usuario de un canal adyacente está transmitiendo en un rango muy próximo al receptor de un abonado, mientras que el receptor está intentando recibir una estación base sobre el canal deseado.

A esto se le suele llamar efecto “*nearfar*”, donde un transmisor cercano (que puede ser o no del mismo tipo que el usado en el sistema inalámbrico) captura al receptor del abonado. Otra forma de reducir el mismo efecto es cuando una estación móvil cercana a una estación base transmite sobre un canal cercano a otro que está usando una estación móvil débil. La estación base puede tener dificultad para discriminar a la estación móvil deseado del otro debido a la proximidad de canales.

Este tipo de interferencias se puede minimizar filtrando cuidadosamente, y con una correcta asignación de frecuencias. Dado que cada celda maneja solo un conjunto del total de canales, los canales a asignar a cada celda no deben estar próximos en frecuencias.

### 2.17.3. Control para reducir las interferencias

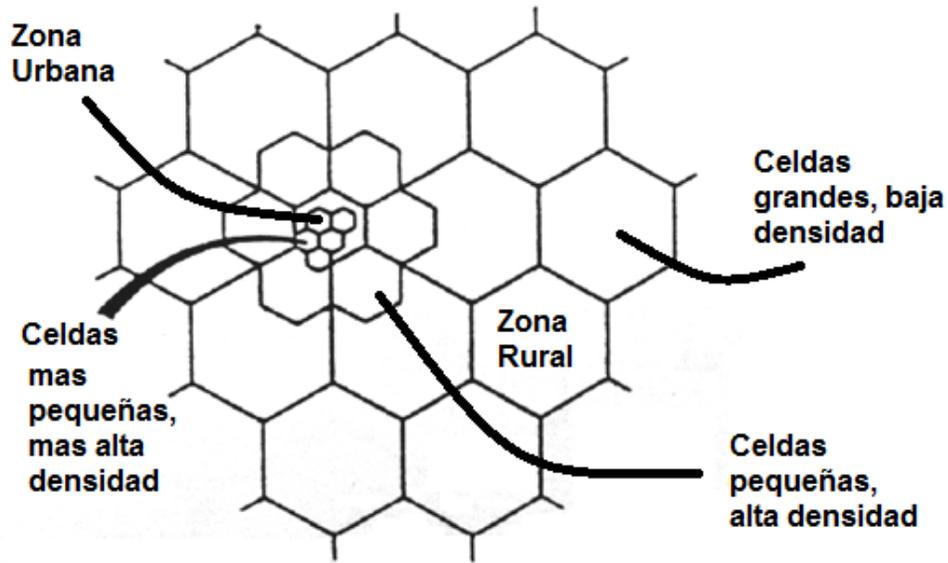
En los sistemas celulares de radio, los niveles de potencia transmitida por cada unidad de los abonados, están bajo un control constante por las estaciones base servidoras. Esto se hace para asegurar que cada móvil transmite la potencia más baja necesaria y así reducir las interferencias entre canales.

### 2.18. DIVISIÓN DE CELULAS

El “*Cell splitting*”<sup>10</sup> es el proceso de subdividir una celda congestionada en celdas más pequeñas, cada una con su propia estación base y su correspondiente reducción de potencia de transmisión y altura en la antena. El “*Splitting*” incrementa la capacidad del sistema celular debido a que aumenta el número de veces que se reutilizan los canales. Creando nuevas celdas que tengan una cobertura radial más pequeña que las celdas originales, instalando estas pequeñas celdas en las existentes, esto incrementa la capacidad en el sistema debido al aumento de canales por unidad.

En las áreas urbanas muy pobladas, la cantidad muy alta de tráfico local puede agotar los canales de radio disponibles. Sin embargo es posible aumentar la capacidad del sistema reduciendo el tamaño de las celdas, permitiendo reutilizar las bandas disponibles en celdas no contiguas. Esto permite reducir o aumentar el tamaño de la celda para dar cabida al crecimiento o a la reducción de tráfico en la población de esta radio base.

**FIGURA N° 8**  
**DIVISION DE CELDAS**



FUENTE: [emercomms.ipellejero.es/2009/08/06/bts-moviles-en-redes-de-telefonía-celular/](http://emercomms.ipellejero.es/2009/08/06/bts-moviles-en-redes-de-telefonía-celular/)

## 2.19. GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS)

La tecnología GSM (*Global System for mobile communications*) nace como un proyecto de la CEPT (Conferencia de administraciones Europeas de Correos y Telecomunicaciones), con los objetivos de: (Rábanos, 2004)

- Permitir Recibir y hacer llamadas desde cualquier parte del continente europeo.
- Mejorar el mercado de terminales en Europa a base del anterior objetivo.
- Crear una nueva línea de desarrollo tecnológico donde el mercado y la demanda del usuario sea primordial.
- Proporcionar una gran capacidad y un grado de calidad adecuado para el momento.

La CEPT conformo el GSM, con la misión de preparar el estándar de telefonía móvil europea, teniendo en claro que el estándar tendría que poseer dos elementos claves, la interoperabilidad entre equipos de proveedores, y dejar que los proveedores puedan

ofrecer prestaciones adicionales al estándar con sus equipos, teniendo esto en claro el grupo definió los requisitos para el estándar: (Rábanos, 2004)

- Tecnología Digital.
- Diseñado para operar con terminales de baja potencia.
- Calidad de alta cobertura, tráfico y señal recibida
- Amplia variedad de servicios.
- Servicios Básicos de voz y datos
- Sistema de Señalización Digital
- Utilización eficiente del espectro electromagnético.

La banda operaria de GSM varía según la región, para ello se determinó el uso de frecuencias para las regiones que deseen usar GSM.

**Cuadro Nº 1**  
**BANDA OPERARIA GSM**

<b>BANDA DE FRECUENCIA (MHz)</b>	<b>DISPONIBILIDAD</b>
850	América
900	Europa, Asia, Pacífico, África
1800	Europa, Asia, Pacífico, África, América
1900	América

FUENTE: <http://worldtimezone.net/gsm.html>

### **2.19.1. Banda de frecuencias**

El sistema GSM-900 opera en la banda de 890 a 960 MHz, se trata de un sistema *full-duplex*, es decir, puede transmitir información de forma simultánea en ambas direcciones (utiliza dos radiocanales por comunicación) y con objeto de simplificar la implementación del circuito duplexor, empleado para permitir la transmisión-recepción simultáneamente para una única antena, se consideró una separación entre los

radiocanales con el valor de 45 MHz. Es decir, se trata de un sistema FDD (*Frequency Division Duplex*).<sup>11</sup>

Para el enlace ascendente UL (de estación móvil a estación base) se considera la banda entre 890 – 915 MHz, mientras para el enlace descendente DL (de estación base a estación móvil) se considera la banda entre 935 – 960 MHz. El ancho de banda de cada radiocanal es de 200 KHz, por lo que se dispone de un total de 125 radiocanales bidireccionales, cada uno de ellos capaz de soportar 8 usuarios simultáneos.

Los canales se numeran de 0 a 124 mediante el denominado ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*).<sup>12</sup> El canal 0 es utilizado como banda de guarda entre GSM y otros sistemas, por lo que no se utiliza.

Conocido el ARFCN, que denominamos como  $n$ , pueden obtenerse valores absolutos de las frecuencias portadoras de los distintos radiocanales.

Enlace ascendente:

$$F(\text{MHz}) = 890 + 0,2 n (\text{MHz}); 0 \leq n \leq 124$$

**Ecuación 4**

Enlace descendente:

$$F(\text{MHz}) = 935 + 0,2 n (\text{MHz}); 0 \leq n \leq 124$$

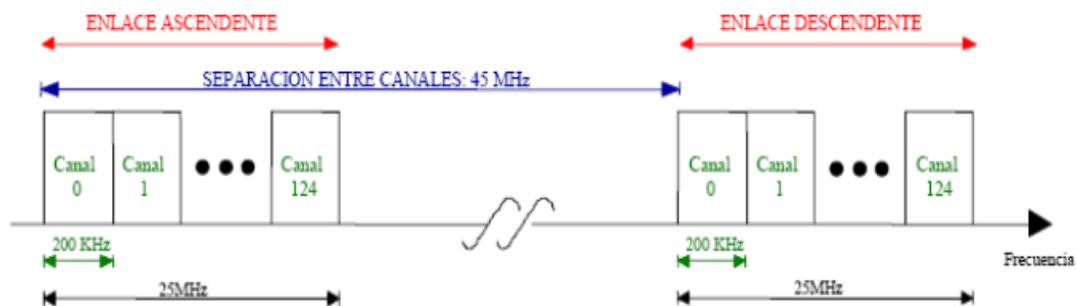
**Ecuación 5**

$n = \text{Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)}$ .

Por lo tanto, para informar desde la estación móvil del radiocanal elegido para operar solo hay q indicar el parámetro (ARFCN).

Cada estación base contiene de 1 a 16 radiocanales dependiendo de cómo se ha planificado la red y la densidad de tráfico de la zona de cobertura servida por la estación base.

**FIGURA N° 9**  
**BANDA DE FRECUENCIAS EN EL ENLACE ASCENDENTE Y DESCENDENTE**



FUENTE: [es.slideshare.net/daniel\\_b4e/asignacion-de-frecuencias-para-la-implantacion-de-la-dtv-en-colombia](http://es.slideshare.net/daniel_b4e/asignacion-de-frecuencias-para-la-implantacion-de-la-dtv-en-colombia)

### 2.8.2.1. GSM modo extendido

Debido a la necesidad de más canales surgió el modo extendido de GSM, el cual habilita 20 MHz adicionales. Se añaden 10 MHz al inicio de cada banda (ascendente y descendente).

- Enlace ascendente: 880 – 915 MHz.
- Enlace descendente: 925 – 960 MHz.

El aumento de frecuencia posibilita obtener 50 nuevos canales numerados de 974 a 1023. Puesto que el canal numerado 974 es el que ahora está situado en el extremo inferior de la banda, ahora se utiliza como canal de guarda, convirtiéndose el canal 0 (antes canal de guarda) en un canal de uso convencional.

De la misma forma se pueden obtener los valores absolutos de las frecuencias portadoras de los radiocanales añadidos en el modo extendido.

Enlace ascendente:

$$F(\text{MHz}) = 890 + 0,2 (n - 1024); 975 \leq n \leq 1023$$

#### **Ecuación 6**

Enlace descendente:

$$F(\text{MHz}) = 935 + 0,2 (n - 1024); 975 \leq n \leq 1023$$

#### **Ecuación 7**

$n = \text{Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)}$ .

### **2.8.2.2. GSM – 1800**

El éxito del sistema GSM, hizo que los operadores agotaran los canales disponibles en la banda de 900 MHz en muy pocos años y no fuera suficiente con la versión extendida del sistema GSM. Por esta razón, se buscó una nueva banda disponible que se encuentre alrededor de los 2 GHz, el cual fuera compatible con el Sistema universal de telecomunicaciones móviles (*Universal Mobile Telecommunications System* o UMTS), ya en proceso de diseño.

Hay que destacar que el sistema opera aproximadamente al doble de la frecuencia original de GSM, lo que facilita la generación de terminales duales. Sin embargo al operar al doble de frecuencia también implica ciertos problemas de implementación. Así por ejemplo, hay que dejar el doble (de hecho 95 MHz) de banda de guarda en los canales del enlace ascendente y los canales del enlace descendente (banda de duplexado) para poder tener las mismas prestaciones que en GSM clásico por parte del circuito de duplexación. Teniendo en cuenta todos estos datos, la distribución de frecuencias en el sistema GSM-1800 es la siguiente:

- Enlace ascendente: 1710 MHz a 1785 MHz.
- Enlace descendente: 1805 MHz a 1880 MHz.

En este caso los valores absolutos de frecuencia de cada radiocanal vienen dados por:

Enlace ascendente:

$$F(\text{MHz}) = 1710 + 0,2 (n - 512) ; 512 \leq n \leq 885$$

#### **Ecuación 8**

Enlace descendente:

$$F(\text{MHz}) = 1805 + 0,2 (n - 512) ; 512 \leq n \leq 885$$

#### **Ecuación 9**

$n = \text{Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)}$ .

Obsérvese que ahora se han fijado en 512 y 885 los valores de ARFCN para evitar confusiones con el sistema GSM y GSM extendido.

Comparándolo con la versión de GSM que opera en la banda de los 900 MHz, observamos que ambos sistemas mantiene la misma estructura en cuanto a canalización, señalización, estructura de trama TDMA. Y la única diferencia reside en que el sistema GSM-1800 tiene 75 MHz de banda asignada en lugar de los 25 MHz del sistema GSM convencional; es decir, dispone de 374 radiocanales en lugar de los 124 del sistema GSM convencional, permitiendo la coexistencia de un número mayor de operadores.

## 2.20. ARQUITECTURA GSM

Los principales componentes en un sistema GSM son:

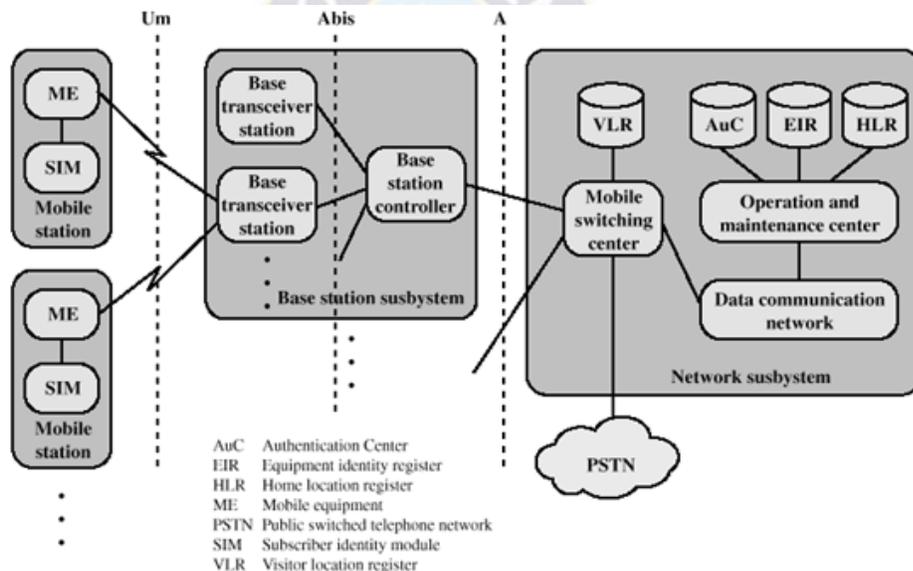
- **Estación Móvil (EM)** es el punto de partida de una red inalámbrica móvil (Teléfono Móvil).
- **Estación Base de Transmisión - Recepción (BTS)** cuando un usuario utiliza la EM para hacer una llamada en la red, la EM transmite la petición de llamada a la estación base Transmisora – Receptora (BTS). La BTS incluye todo el equipo de radio (es decir, antenas dispositivos del tratamiento de señales y amplificadores) necesario para la transmisión dentro de un área geográfica llamada célula. La BTS es responsable de establecer el vínculo con la EM y de la modulación/demodulación de las señales de radio entre la EM y la BTS.
- **Controlador de la Estación Base (BSC)** el controlador de la estación base (BSC) es el componente que controla la red de radio, y maneja la BTS. La BSC reserva las radiofrecuencias para las comunicaciones y maneja el *Handoff* entre la BTS y la EM cuando esta migra de una célula a otra. También es responsable de monitorear a la EM las llamadas entrantes.
- **Subsistema de la Estación Base (BSS)** una red GSM posee muchos subsistemas de la estación base (BSS), cada uno controlado por un BSC. El BSS realiza las funciones de monitoreo necesario para las conexiones de EM, codificación y decodificación de la voz, y la adaptación de la tasa desde y para la red inalámbrica. Un BSS puede contener varias BTS.
- **Centro de Conmutación Móvil (MSC)** es el centro de control de los sistema celulares; se encarga de conmutar las llamadas a las celdas, proporciona respaldo, autenticación de la llamada: localización e identificación, realiza

labores de administración en la red en general. Un MSC puede conectarse con una gran cantidad de BSC.

- **Registro de Identidad de Equipo (EIR)** el registro de identidad de equipo (EIR) es una base de datos que almacena las identidades móviles internacionales de equipo (IMEI's) de todas las estaciones móviles en la red. El IMEI es un identificador del equipo asignado por el fabricante de la estación móvil. El EIR proporciona rasgos de seguridad tales como bloqueos de llamadas de los teléfonos que han sido robados.
- **Registro de Localización del Anfitrión (HLR)** el registro de localización del anfitrión (HLR) es la base de datos central para que todos los usuarios se registren en la red GSM. Almacena información estática sobre los usuarios tales como la identidad del suscriptor móvil internacional (IMSI), los servicios suscritos, y una clave para autenticar al suscriptor. El HLR también almacena la información dinámica del suscriptor (es decir, la localización actual de la EM).
- **Centro de Autenticación (AuC)** se asocia al HLR, el centro de autenticación (AuC) es una base de datos que contiene algoritmos para autenticar a los suscriptores y las claves necesarias para que la encriptación salvaguarde la entrada del usuario.
- **Registro de la Localización del Visitante (VLR)** el registro de la localización del visitante (VLR) es una base de datos distribuida que almacena temporalmente la información sobre las estaciones móviles que son activas en el área geográfica, de la cual el VLR es responsable. Un VLR se asocia a cada MSC en la red; cuando un nuevo suscriptor entra en un área de localización, el VLR es responsable de copiar la información del suscriptor del HLR a su base de datos local. Esta relación entre la VLR y el HLR evita actualizaciones frecuentes de la base de datos de HLR y la señalización interurbana de la información del usuario, permitiendo un acceso más rápido a la información del suscriptor.

- **Subsistema de la Red y de la Conmutación (NSS)** el subsistema de la red y de la conmutación (NSS) es el corazón del sistema GSM. Conecta la red inalámbrica con la red fija estándar; es responsable del *handoff* de llamadas a partir de una BSS a otra, y lleva a cabo servicios tales como carga, cuenta y roaming.

**FIGURA Nº 10**  
**ARQUITECTURA GSM**



FUENTE: [www.geocities.ws/johanna\\_pina28/fase2/t3.html](http://www.geocities.ws/johanna_pina28/fase2/t3.html)

## 2.21. MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO MINIMO MSK (“Minimum Shift Keying”)

MSK es un tipo especial de FSK modulación por desplazamiento de frecuencia (*Frequency Shift Keying*<sup>13</sup>), con fase continua y un índice de modulación de 0,5. El índice de modulación de una señal FSK es similar al de FM, y se define por  $K_{FSK} = (2\Delta F)/R_b$ , Donde  $2\Delta F$  es el desplazamiento de frecuencia de pico a pico y  $R_b$  es el bit rate. Un índice de modulación de 0,5 se corresponde con el mínimo espacio en

frecuencia que permite dos señales FSK para ser ortogonales coherentes, y el nombre MSK implica la mínima separación en frecuencia que permite una detección ortogonal. Dos señales FSK  $v_H(t)$  y  $v_L(t)$  se dicen que son ortogonales si:

$$\int_0^T V_H(t)V_L(t)dt = 0.....^{14}$$

**Ecuación 10**

MSK es una modulación espectralmente eficiente. Posee propiedades como envolvente constante, eficiencia espectral, buena respuesta ante los errores de bits, y capacidad de auto sincronización. Una señal MSK genérica se puede expresar como:

$$S_{MSK}(t) = m_I \cos\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right) \cos(2\pi f_c t) + m_Q(t) \sin\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right) \sin(2\pi f_c t).....^{15}$$

**Ecuación 11**

Donde  $m_I(t)$  y  $m_Q(t)$  son los bits pares e impares de la cadena de datos bipolares que tienen valores de +1 ó de -1 y que alimentan los bloques de fase y en cuadratura del modulador.

La forma de onda MSK se puede ver como un tipo especial de FSK de fase continua y por tanto la ecuación anterior se puede reescribir usando las propiedades trigonométricas como:

$$S_{MSK} = \cos\left[2\pi f_c t - m_I(t)m_Q(t)\frac{\pi t}{2T_b} + \phi_k\right].....^{16}$$

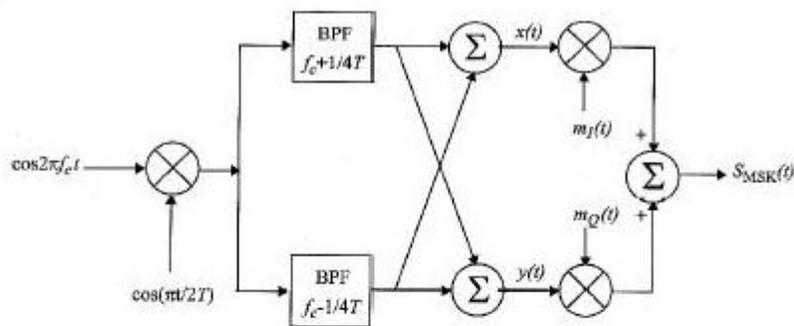
**Ecuación 12**

Donde  $\phi_k$  es 0 ó  $\pi$  dependiendo de si  $m_I(t)$  es +1 ó -1. De la ecuación anterior se puede deducir que MSK tiene amplitud constante. La continuidad de fase en los

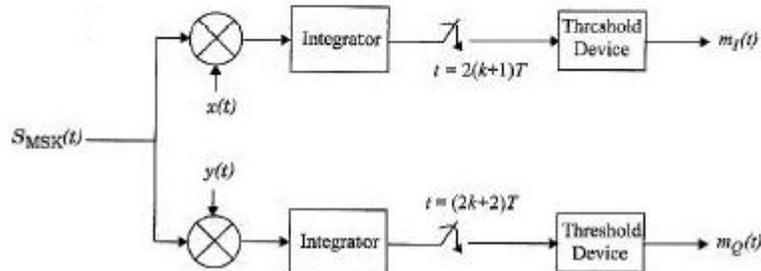
periodos de transición de bits se asegura escogiendo la frecuencia de la portadora como un múltiplo entero de un cuarto del bit rate. Con un estudio más profundo, se puede ver de la ecuación anterior que la fase de la señal MSK varía linealmente durante el transcurso de cada periodo de bit.

**FIGURA Nº 11**

**DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN MODULADOR Y DEMODULADOR MSK**



Block diagram of an MSK transmitter.



FUENTE: [www.alsitel.com/tecnico/gsm/teoria%20\(ii\).htm](http://www.alsitel.com/tecnico/gsm/teoria%20(ii).htm)

En la figura 11 muestra el modulador y demodulador típico MSK. Multiplicando una señal portadora por  $\cos[\pi t/2T]$  se producen dos señales coherentes en fase a las frecuencias  $f_c + 1/4T$  y a  $f_c - 1/4T$ . Estas dos señales FSK se separan usando dos filtros pasa banda estrechos y se combinan apropiadamente para formar las dos señales en fase y cuadratura  $x(t)$  e  $y(t)$  respectivamente. Estas portadoras se multiplican por la cadena de bits impares y pares,  $m_I(t)$  y  $m_Q(t)$  para producir la señal modulada MSK  $s_{MSK}(t)$ .

En el receptor (demodulador), la señal recibida  $s_{MSK}(t)$  (en ausencia del ruido e interferencias) se multiplica por las portadoras respectivas en fase y en cuadratura. La salida de los multiplicadores se integra durante dos periodos de bit y se introduce en un circuito de decisión al final de estos dos periodos. Basado en el nivel de la señal a la salida del integrador, el dispositivo de decisión decide si la señal es 1 ó 0. Las cadenas de datos de salida se corresponden con las señales  $m_I(t)$  y  $m_Q(t)$ , que se combinan para obtener la señal demodulada.

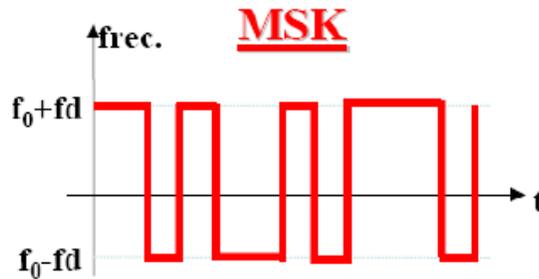
### 2.21.1. MODULACIÓN GMSK

La modulación utilizada en el estándar GSM es la denominada GMSK modulación por desplazamiento mínimo gaussiano (*Gaussian Minimum Shift Keying*). Esta modulación deriva de la modulación MSK que es una modulación digital de frecuencia cuya ancho de banda es mínimo.

Tanto MSK como GMSK son modulaciones digitales de envolvente constante, por lo que son buenas candidatas para ser utilizadas en el sistema de comunicaciones móviles.

Aunque la modulación MSK tiene un nivel de lóbulos laterales menor que la modulación QPSK clásica (con pulso conformador rectangular), al tener garantiza la continuidad de la fase, en sistemas de radiocomunicación no se utiliza, pues aun así el nivel de lóbulos laterales es excesivamente elevado (los lóbulos adyacentes están solo 23 dB atenuados con respecto al lóbulo principal). Ello es debido a las transiciones bruscas de la señal en el dominio de la frecuencia.

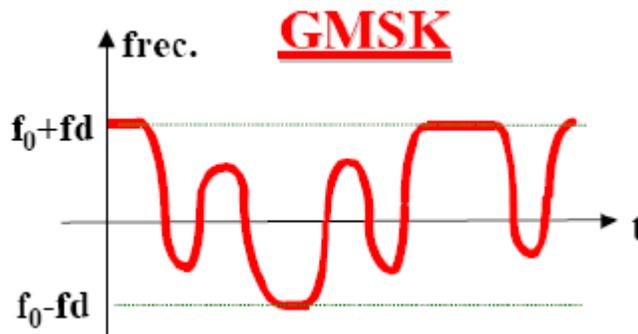
**FIGURA Nº 12**  
**SEÑAL MODULADA CON MSK**



FUENTE: [www.aulavirtual.urjc.es/moodle/login/index.php](http://www.aulavirtual.urjc.es/moodle/login/index.php)

Si se desea garantizar un nivel de lóbulos laterales suficientemente bajo, no solo hay que garantizar continuidad de fase sino también continuidad de frecuencia y de sus sucesivas derivadas. Por esta razón, en el caso de modulación GMSK se parte de una modulación MSK y se introduce un filtro de pre-modulación Gaussiano frente al modulador digital de frecuencia MSK.

**FIGURA Nº 13**  
**SEÑAL MODULADA CON GMSK**

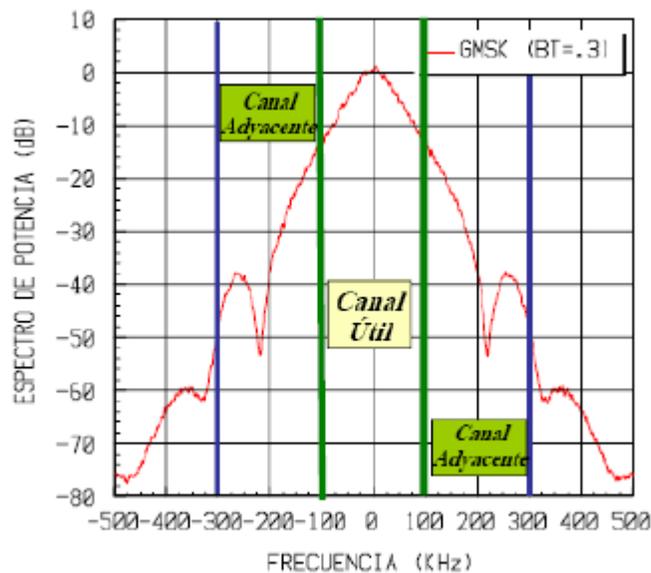


FUENTE: [www.aulavirtual.urjc.es/moodle/login/index.php](http://www.aulavirtual.urjc.es/moodle/login/index.php)

## 2.21.2. FRECUENCIA

El espectro de la señal GMSK se extiende fuera de la banda asignada a un radiocanal. Por consiguiente se trata de un sistema que produce interferencias entre diferentes usuarios que operan en radiocanales contiguos.

**FIGURA Nº 13**  
**ESPECTRO DE UNA SEÑAL GMSK**



FUENTE: [www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092008000300010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092008000300010&script=sci_arttext)

Sin embargo, ello no constituye un problema en el sistema, puesto que los sistemas inalámbricos son sistemas limitados por interferencias, debido a la existencia de celdas relativamente cercanas servidas por estaciones base que operan con los mismos radiocanales que la estación base a la que se encuentra sintonizado el usuario en cuestión. En este tipo de sistemas las prestaciones del mismo depende fundamentalmente de la relación señal-interferencia y no de la relación señal-ruido.

Cabe redundar que la presencia de interferencias en canales adyacentes ocasionada por la modulación no constituye un problema en el sistema GSM. En efecto, para un tasa de error (*Bit Error ratio* ó *BER*) de 0,01, la degradación (con respecto a un sistema

ideal en la que no existiera radiación procedente del canal adyacente) en las prestaciones del sistema introducida por la presencia de canales adyacentes es de 0,5 dB si se considera el canal inmediatamente adyacente ( $\Delta f = 200 \text{ KHz}$ ) y de 0,1 dB si se considera que el radiocanal que genera la señal interferente está situado dos radiocanales adyacentes más allá del canal útil ( $\Delta f = 400 \text{ KHz}$ ).

## **2.22. INTERFAZ DE RADIO EN GSM**

Un canal de radio es un medio extraordinariamente hostil para establecer y mantener comunicaciones fiables. Todos los esquemas y mecanismos que usamos para hacer posible la comunicación en el canal de radio, se agrupan en los procedimientos de la interfaz de radio. En este apartado se describirá, con cierto detalle, la organización de la interfaz de radio de GSM: tipo y formato de señales y correspondencia entre los canales lógicos y los canales físicos constituidos por las señales.

### **2.22.1. Acceso a sistemas truncados**

Si el número de canales disponibles para todos los usuarios de un sistema de radio es menor que el número de posibles usuarios, entonces a ese sistema se le denomina sistema de radio truncado. El truncamiento es el proceso por el cual los usuarios participan de un determinado número de canales de forma ordenada. Los canales compartidos funcionan debido a que podemos estar seguros que la probabilidad de que todo el mundo quiera un canal al mismo tiempo es muy baja. Un sistema de telefonía celular como GSM es un sistema de radio truncado, porque hay menos canales que abonados que posiblemente quieran usar el sistema al mismo tiempo. El acceso se garantiza dividiendo el sistema en uno o más de sus dominios: frecuencia, tiempo, espacio o codificación.

### **2.22.2. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)**

FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) es la manera más común de acceso truncado. Con FDMA, se asigna a los usuarios un canal de un conjunto limitado de canales ordenados en el dominio de la frecuencia. Cuando hay más usuarios que el suministro de canales de frecuencia puede soportar, se bloquea el acceso de los usuarios al sistema. Cuantas más frecuencias se disponen, hay más usuarios, y esto significa que tiene que pasar más señalización a través del canal de control. Los sistemas muy grandes FDMA frecuentemente tienen más de un canal de control para manejar todas las tareas de control de acceso. 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 hasta que éste no necesite el recurso.

### **2.22.3. Acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA)**

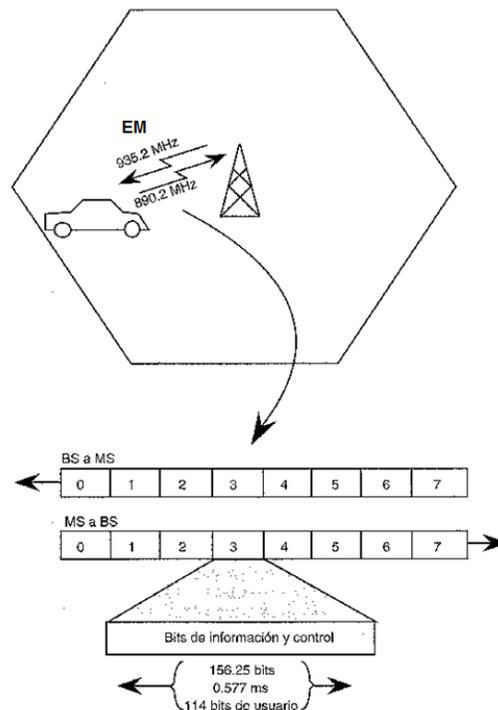
TDMA (*Time Division Multiple Access*) es común en los sistemas de telefonía fija. Las últimas tecnologías en los sistemas de radio son la codificación de la voz y la compresión de datos, que eliminan redundancia y periodos de silencio y decrecen el tiempo necesario en representar un periodo de voz. Los usuarios acceden a un canal de acuerdo con un esquema temporal. Aunque no hay ningún requerimiento técnico para ello, los sistemas celulares, que emplean técnicas TDMA, siempre usan TDMA sobre una estructura FDMA. Un sistema puro TDMA tendría sólo una frecuencia de operación, y no sería un sistema útil.

En los sistemas modernos celulares y digitales, TDMA implica el uso de técnicas de compresión de voz digitales, que permite a múltiples usuarios compartir un canal común utilizando un orden temporal. La codificación de voz moderna, reduce mucho el tiempo que se lleva en transmitir mensajes de voz, eliminando la mayoría de la redundancia y periodos de silencio en las comunicaciones de voz. Otros usuarios pueden compartir el mismo canal durante los periodos en que éste no se utiliza. Los usuarios comparten un canal físico en un sistema TDMA, donde están asignados unos slots de tiempo. A todos

los usuarios que comparten la misma frecuencia se les asigna un slot de tiempo, que se repite dentro de un grupo de slots que se llama trama. Un slot GSM es de  $577 \mu\text{s}$  y cada usuario tiene uso del canal (mediante su slot) cada  $4.615 \text{ ms}$  ( $577 \mu\text{s} * 8 = 4.615 \text{ ms}$ ), ya que en GSM tenemos 8 slots de tiempo.

En GSM existen 124 pares de canales que operan en forma *full dúplex* asignando al enlace ascendente y al descendente diferentes frecuencias portadoras. En el ejemplo siguiente, un canal se asigna a la portadora de  $935.2 \text{ MHz}$  y otro canal se asigna a la portadora de  $890.2 \text{ MHz}$ . De ahí en adelante, estos canales multiplexados por división en la frecuencia se multiplexan por división en el tiempo. Como ya hemos dicho, los slots TDMA se asignan con ocho slots por trama. En estos slots operan bits de información y de control. Cada slot individual comprende  $156.25 \text{ bits}$ . Sin embargo, el usuario sólo recibe  $114 \text{ bits}$  de este slot; el resto se usa para sincronización y otras funciones de control.

**FIGURA Nº 14**  
**INTERFAZ ESTACION MOVIL (EM)**



FUENTE: [es.slideshare.net/cristianjaviertipanparrga/programacin-telefona-mvil](http://es.slideshare.net/cristianjaviertipanparrga/programacin-telefona-mvil)

Los canales de enlace ascendente y de enlace descendente tienen la misma estructura. Además, las portadoras se dividen en 124 pares de canales con un espaciado de 200 KHz para evitar interferencias entre canales. Conceptos ya estudiados anteriormente.

#### **2.22.4. Acceso múltiple por división del espacio (SDMA)**

SDMA (*Space Division Multiple Access*) se usa en todos los sistemas celulares, analógicos o digitales. Por tanto, los sistemas celulares se diferencian de otros sistemas de radio truncados solamente porque emplean SDMA. Los sistemas de radio celulares, como ya vimos en la introducción a los sistemas celulares, permiten el acceso a un canal de radio, siendo éste reutilizado en otras celdas dentro del sistema.

#### **2.22.5. Acceso múltiple por división de código (CDMA).**

El acceso Múltiple por División de Código CDMA (*Code División Multiple Access*) un participante relativamente nuevo en el mundo móvil-inalámbrico comercial. CDMA es muy diferente de TDMA. En primer lugar, CDMA usa un solo espectro de ancho de banda (no rebanadas de ancho de banda) para todos los usuarios de la celda. CDMA transmite las señales de todos los usuarios por el canal al mismo tiempo, lo que permite a las señales de los usuarios “interferir” unas con otras.

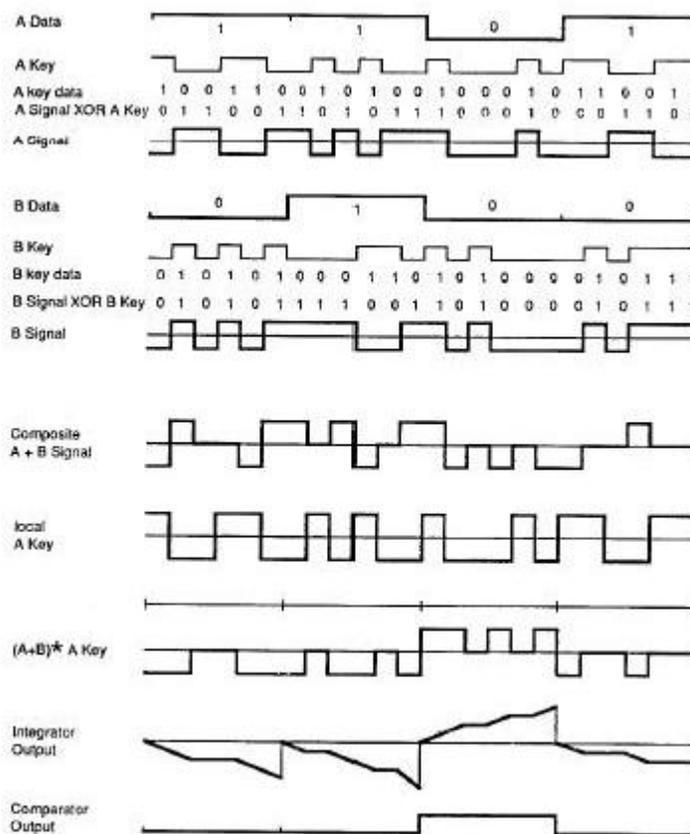
Al igual que en TDMA, la conversación analógica se codifica en señales digitales, pero, a diferencia de TDMA, a cada conversación se le asigna un código único (una “llave” para cada transmisión individual). La señal codificada puede extraerse en el receptor empleando un código complementario. Los códigos de los diferentes usuarios del canal se diseñan de modo que sean tan distintos unos de otros como sea posible.

Cada señal de conversación se modula (“dispersa”) a lo ancho de toda una banda (por ejemplo, una banda de 1.25 MHz). El respectivo receptor desmodula e interpreta la señal empleando el código pertinente incorporado en la señal. La señal final sólo

contiene la conversación pertinente. Cualquier otra señal (las señales codificadas de otros usuarios) se capta como ruido.

A continuación presentamos un ejemplo de CDMA. Empezamos con dos conjuntos de información binaria que son el dato A y el dato B.

**FIGURA Nº 15**  
**EJEMPLO DE CDMA**



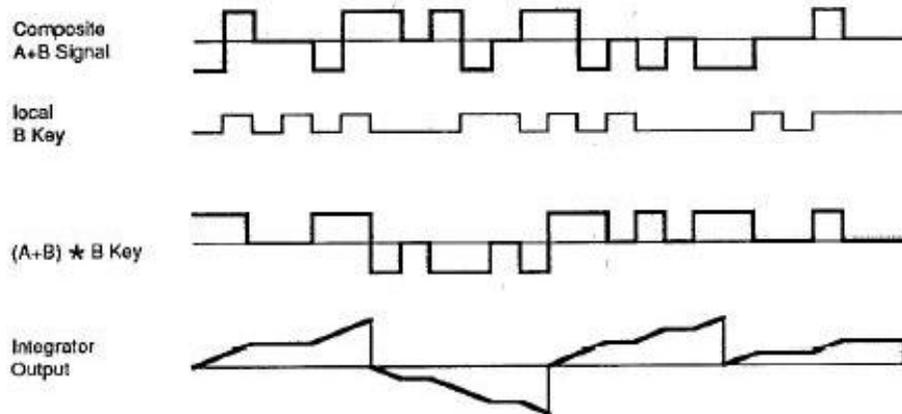
FUENTE: [www.lanbasico.tk/2015/09/cdma-spread-spectrum.html](http://www.lanbasico.tk/2015/09/cdma-spread-spectrum.html)

Se quiere transmitir ambas cadenas de datos juntas sobre un canal y separarlas en el receptor, por lo que se les dará a cada una un canal virtual. Para hacer esto, le damos a cada cadena de datos, A y B, sumándole módulo 2 su propia llave: la llave A y la llave B. En sus respectivos casos, obtenemos las señales A y B. Ahora miramos en el receptor (correlador) y vemos qué ocurre con las dos señales.

La composición de las dos señales aparece en el receptor llamada "Composición de la Señal A+B". La forma de onda es simplemente la suma algebraica, bit a bit, de las señales A y B. Recuperamos el Dato A de las señal compuesta, en dos pasos. Primero, se multiplica la señal compuesta por una copia de la llave correspondiente, en este caso por la llave A.

Obtenemos la señal llamada  $(A+B) * \text{Llave A}$ . Segundo, se integra esta señal bit a bit, obteniendo la Salida del Integrador. Se comprueba el signo de la señal de salida del integrador después de 6 bits (ya que por cada bit de datos, se introdujo 6 bits de llave). El signo de la señal nos da directamente el dato descodificado. Si el signo es negativo, el dato es un 0, y si es positivo, es un 1. Con la señal B se operaría lo mismo excepto se debería utilizar su llave correspondiente.

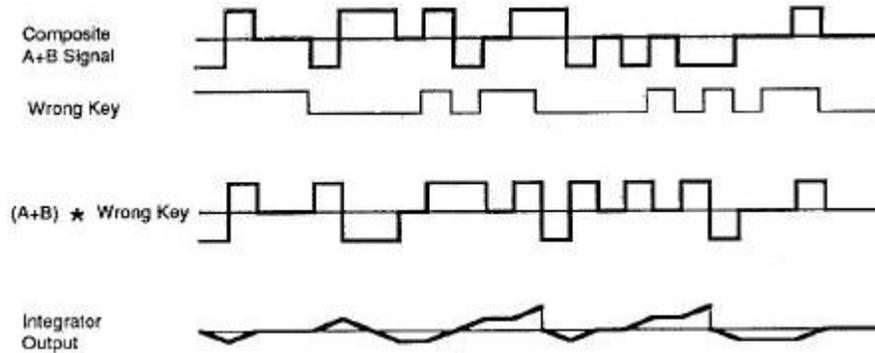
**FIGURA Nº 16**  
**RECUPERACION DE LA SEÑAL B**



FUENTE: [www.lanbasico.tk/2015/09/cdma-spread-spectrum.html](http://www.lanbasico.tk/2015/09/cdma-spread-spectrum.html)

Si se intenta recuperar el dato con una llave incorrecta, se obtendría el resultado expuesto en la figura 17. En ella se aprecia que a la salida del integrador se obtiene una señal que tiene una media de cero voltios.

**FIGURA Nº 17**  
**RECUPERACION DE UNA SEÑAL UTILIZANDO UNA LLAVE INCORRECTA**



FUENTE: [www.lanbasico.tk/2015/09/cdma-spread-spectrum.html](http://www.lanbasico.tk/2015/09/cdma-spread-spectrum.html)

#### **2.22.6. Acceso múltiple por saltos de frecuencia (FHMA)**

FHMA es un sistema de acceso múltiple digital, en el cual, las frecuencias de las portadoras de los usuarios individuales se varían de forma pseudoaleatoria dentro de un canal de banda ancha. Los datos digitales se dividen en ráfagas de tamaño uniforme que se transmiten sobre diferentes portadoras.

#### **2.22.7. Tipos y formatos de ráfagas**

Las ráfagas están constituidas por un núcleo formado por bits de información y la secuencia de entrenamiento, rodeado de bits de cola (*tail bits*). El periodo comprendido entre dos ráfagas que aparecen en un intervalo de tiempo (TS) consecutivos de una trama se denomina periodo de guarda. Este periodo es necesario ya que el móvil no es capaz de incrementar y decrementar su potencia de salida de forma instantánea. En este periodo de guarda, el móvil puede completar sus rampas de subida y bajada de potencia transmitida. Por otra parte, gracias a este periodo de guarda se minimizan las colisiones parciales, que a causa del efecto de multitrayectos, podrían producirse entre ráfagas que llegan a la estación base procedente de las estaciones móviles que utilizan los distintos intervalos de la misma portadora.

Una característica de las ráfagas es su duración útil. Existen cuatro tipos de ráfagas completas de 147 bits de duración útil: ráfagas de corrección de frecuencia, ráfagas de sincronización, ráfagas de relleno y ráfaga normal; y una ráfaga corta de acceso de 87 bits de duración útil.

### 2.11.7.1. Ráfagas de acceso AB (ACCESS BURST)

Son las ráfagas empleadas por el móvil para acceder a la estación base cuando demanda un canal de la misma. En consecuencia, se transmiten únicamente en el enlace ascendente. La secuencia de entrenamiento y la secuencia de cola inicial son más largas que en una ráfaga normal, para aumentar la probabilidad de éxito de la demodulación. Hay que tener en cuenta que el receptor no conoce “a priori” el nivel con el que va llegar la ráfaga, ni el error de frecuencia, ni el momento de recepción.

**FIGURA Nº 18**

#### **ESTRUCTURA DE LAS RAFAGAS DE ACCESO**

Tbext(8)	SYN(41)	Información (36)	TB(3)	GPext. (68,25)
BN: 0.....7				Bits de cola extendidos (8)
8.....48				Secuencia de sincronización (41)
49.....84				Bits de información cifrados (36)
85.....87				Bits de cola (3)
88.....156,25				Bits del periodo de guarda extendido (68,25)

FUENTE: [es.wikipedia.org/wiki/Avance\\_temporal](http://es.wikipedia.org/wiki/Avance_temporal)

### 2.11.7.2. Ráfagas de corrección de frecuencia FB (FREQUENCY CORRECTION BURST)

Estas ráfagas únicamente se utilizan en el enlace descendente. A través de estas ráfagas el móvil realiza un ajuste fino de la frecuencia de sintonía. Son ráfagas largas que permiten a los móviles encontrar y de modular un ráfaga SB de la misma celda.

Es la ráfaga más simple de todas, sus 148 bits toman el valor de "0", de forma que, con la técnica de modulación empleada, la señal resultante es una portadora sin modular con frecuencia 1625/24 KHz mayor que la frecuencia nominal de la portadora utilizada.

### 2.11.7.3. Ráfagas de sincronización SB (SYNCHRONIZATION BURST)

Estas ráfagas, utilizadas únicamente en el enlace descendente, tienen por finalidad posibilitar la sincronización del reloj de la estación móvil con el de la estación base y determinar la situación dentro la trama temporal. De esta forma puede iniciarse el proceso de demodulación de la información transmitida en el enlace descendente. Por ello, la duración de la secuencia de entrenamiento es mayor que en las ráfagas normales.

**FIGURA Nº 19**  
**ESTRUCTURA DE LAS RAFAGAS DE SINCRONIZACION**

TB 3	Información(39)	Training sequence (64)	Información (39)	TB 3	GP (8,25)
------	-----------------	------------------------	------------------	------	-----------

BN:	0.....2	Bits de cola (3)
	3.....41	Bits de información cifrados (39)
	42.....105	Secuencia de entrenamiento extendida (64)
	106.....144	Bits de información cifrados (39)
	145.....147	Bits de cola (3)
	148.....156,25	Periodo de guarda (8,25)

FUENTE: [es.wikipedia.org/wiki/Avance\\_temporal](http://es.wikipedia.org/wiki/Avance_temporal)

### 2.11.7.4. Ráfagas de relleno DB (DUMMY BURST)

Son las ráfagas que se radian cuando no hay información que transmitir. La portadora que lleva la información de BCCH tiene que radiarse constantemente. Es la señal "piloto" que los móviles necesitan estar recibiendo constantemente para poder hacer

medidas de potencia. Cuando hay móviles ocupando canales de tráfico de esta portadora, en los TS físicos correspondientes a estos canales se estará transmitiendo información, utilizándose para ello el formato de las ráfagas normales. Pero en aquellos TS de esta portadora que no estén siendo utilizados para ninguna comunicación, es igualmente preciso que se esté transmitiendo algo para que no se pierda durante esos TS la señal piloto. Lo que se transmite en estos casos es la llamada ráfaga de relleno, que tiene también un formato especificado (básicamente son bits de modulación con una secuencia predefinida).

**FIGURA Nº 20**  
**FORMATO DE LA RAFAGA DE RELLENO**

TB (3)	Mixed bits (142)	TB (3)	GP (8,25)
--------	------------------	--------	-----------

BN: 0.....2	Bits de cola (3)
3.....144	Bits mezclados (142)
145.....147	Bits de cola (3)
148.....156,25	Periodo de guarda (8,25)

FUENTE: [es.slideshare.net/AbrahamSalgadoGarcia/acceso-radiomovil](http://es.slideshare.net/AbrahamSalgadoGarcia/acceso-radiomovil)

### 2.11.7.5. Ráfagas normales NB (NORMAL BURST)

Estas ráfagas se utilizan tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. Llevan información de tráfico o canales de control. Su estructura básica es la siguiente: unos bits que componen la secuencia de entrenamiento del ecualizador situados en el centro de la ráfaga, dos campos de bits de información situados a sendos lados de la secuencia de entrenamiento y los bits de cola.

La razón de situar la secuencia de entrenamiento en el centro de la ráfaga es minimizar la distancia desde cualquier bit de información a dicha secuencia. En el proceso de ecualización se estima la función de transferencia del canal es la misma durante toda la

ráfaga y que, por lo tanto, es la que puede utilizarse para la ecualización de los datos. El error cometido en esta hipótesis es mínimo cuando se minimiza la separación temporal entre los bits de información y los de la secuencia de entrenamiento.

En las ráfagas normales hay ocho posibles secuencias de entrenamiento, identificadas a través del código de la secuencia de entrenamiento, TSC (*Training Sequence Code*).<sup>17</sup> El que haya más de una hace posible disponer de una cierta protección frente a interferencias. Si llegan a un receptor dos señales interferentes y cada una de ellas utiliza una secuencia de entrenamiento distinta, al estar las secuencias diseñadas de forma que tengan muy poca correlación entre sí, sería posible discriminar cuál de las dos aportaciones es la que corresponde a la señal que interesa para la determinación de la función de transferencia del canal, ignorándose la otra componente, optimizando de esta forma el funcionamiento del ecualizador. La idea es por tanto asignar distintas secuencias de entrenamiento a aquellos sectores celulares que sean potencialmente interferentes. La forma establecida en la especificación GSM 03.03 para asignar TSC es hacerlo igual al BCC (BTS Colour Code, segundo dígito del BSIC) ya que células próximas entre sí que reutilicen frecuencias deberían tener distintos BSIC, y así tendrían también distintos TSC.

**FIGURA Nº 21**  
**ESTRUCTURA DE LAS RAFAGAS NORMALES**

TB (3)	Información (58)	Training sequence (26)	Información (58)	TB (3)	GP (8,25)
BN: 0.....2					Bits de cola (3)
3.....60					Bits de información cifrados (58)
61.....86					Secuencia de entrenamiento (26)
87.....144					Bits de información cifrados (58)
145.....147					Bits de cola (3)
148.....156,25					Periodo de guarda (8,25)

FUENTE: [es.slideshare.net/AbrahamSalgadoGarcia/acceso-radiomovil](http://es.slideshare.net/AbrahamSalgadoGarcia/acceso-radiomovil)

### **2.13.8. Correspondencia canales lógicos – canales físicos**

En este apartado se describen los canales lógicos existentes, su aplicación y los recursos y tipos de ráfagas que se utilizan para plasmarlos en canales físicos. Los canales lógicos se clasifican en dos grupos: canales comunes y canales dedicados.

#### **2.13.8.1. Canales comunes**

Los canales comunes son aquellos que, transmiten información de señalización común a todos los móviles que se encuentran “acampados” en una celda dada. Son canales punto-multipunto.

Los canales lógicos comunes son: BCCH, FCCH, SCH, PCH, AGCH, NCH (descendente) y RACH (ascendente).

De todas las portadoras que se transmite un célula dada, hay una de ellas que funciona como señal piloto para los móviles, utilizando su TN (*time-slot number*)<sup>18</sup> o físico para transmitir todos los canales comunes de señalización. Esta portadora se identifica generalmente con el nombre de uno de los canales lógicos que transmite: BCCH y se denomina “Portadora BCCH”.

#### **2.13.8.2. Canales dedicados**

Los canales lógicos dedicados son aquellos que transmiten información correspondientes a una conexión establecida entre un móvil concreto y al red. Son, por lo tanto, canales punto a punto. Pueden clasificarse en función del tipo de información que se transmite: voz/datos o señalización asociada a esa conexión.

### 2.13.9. Estructura de las multitramas

Existen dos clases de multitramas: multitramas de canales dedicados de tráfico (denominado MF26) y multitramas de canales de señalización y control (MF51). Ambas multitramas siguen ciclos que corren en paralelo sobre una estructura superior denominada supertrama.

La multitrama de canales de tráfico consta de 26 tramas y su duración es igual a 120 ms. Este valor se ha escogido como múltiplo de 20 ms para conseguir cierto sincronismo con las redes fijas. La duración de la trama y el TS viene determinados por este valor de 120 ms: duración de la trama =  $120/26 = 4,615$  ms, duración del TS =  $120/(26*8) = 0,577$  ms.

El número o de tramas de la multitrama de señalización es de 51 que, como puede verse no tiene ningún divisor común con las 26 de la de tráfico. Esto se ha elegido así para asegurar que los móviles en modo dedicado puedan escuchar el canal de sincronización (SHC) y de corrección de frecuencia (FCCH) de las celdas vecinas, condición imprescindible para decodificar el BSIC de las celdas, lo cual es necesario para realizar el traspaso de una celda a otra.

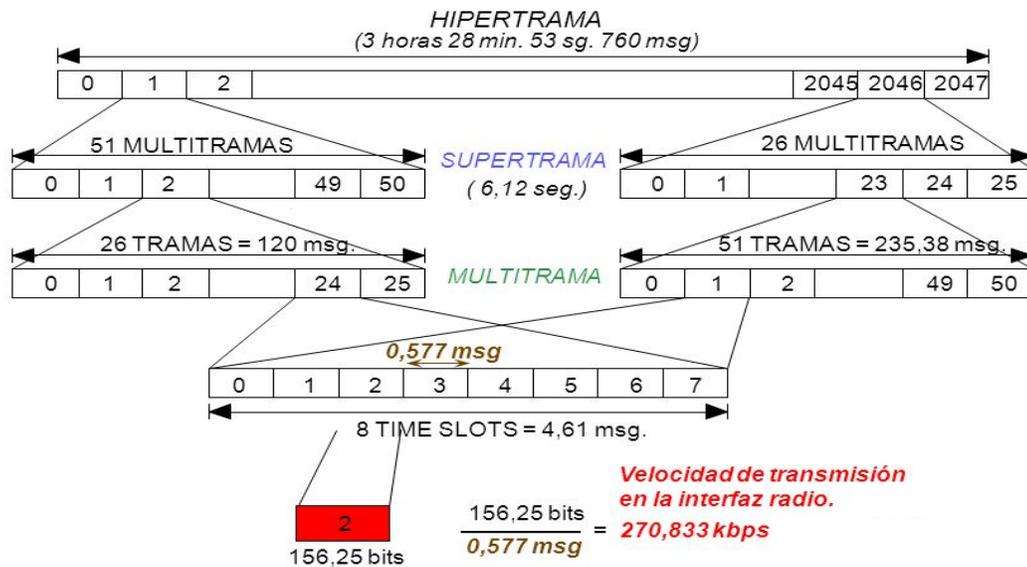
#### 2.13.9.1. Supertramas e hipertrama

La estructura jerárquica temporal que sigue a las multitramas son las denominadas supertramas. El periodo de un supertrama es el mínimo común múltiplo de los periodos de los dos tipos de multitramas, es decir,  $51*120\text{ms}=6,12$  segundos. Una supertrama está por tanto formado por 52 multitramas de tráfico (MF26) o por 26 multitramas de señalización (MF51)

La estructura temporal periódica más larga definida es la denominada hipertrama. La hipertrama tiene una duración de 2048 supertramas, por lo que su periodo es igual a  $2048*6,12 = 12.533,76$  s, es decir 3h. 28m. 53s.760ms. Las tramas TDMA se numeran

modulo esta hipertrama, esto es, el número de trama TDMA, o FN (*Framer Number*), va desde 0 hasta 2715647. El tener una estructura tan larga se debe a que se necesita para soportar los mecanismos de cifrado a que se somete la señal vocal.

**FIGURA Nº 22**  
**ESTRUCTURA DE LAS TRAMAS DEL SISTEMA GSM**



FUENTE: [es.slideshare.net/AbrahamSalgadoGarcia/acceso-radiomovil](http://es.slideshare.net/AbrahamSalgadoGarcia/acceso-radiomovil)

## 2.14. SISTEMA DE ENERGIA PARA ALIMENTAR UN EQUIPO

El sistema de energía está pensado para lugares alejados los cuales carecen de energía eléctrica cableada, por esta razón estos equipos serán alimentados en base a energía solar.

Cuando se usa energía solar se hace un arreglo de paneles solares. Cada panel solar es de 85 w y 12 voltios, la corriente varía de acuerdo a la intensidad solar. Un panel tiene un tiempo de vida superior a los 25 años.

Cuando se usa energía solar se tiene un banco de batería para respaldo en ausencia de sol. Las baterías son de 12 voltios y 75 Ah. En las batería libres de mantenimiento su

periodo de vida depende de los ciclos de descarga y recarga, es normalmente superior a 8 años.

También se tendrá en cuenta un regulador de voltaje, llamado controlador solar, limita el voltaje de protección de la vida de las baterías. El sistema de energía alimenta de energía eléctrica a los componentes electrónicos del sistema de radio ininterrumpidamente.

**FIGURA Nº 23**  
**PANEL SOLAR PARA PROVISION DE ENERGIA**



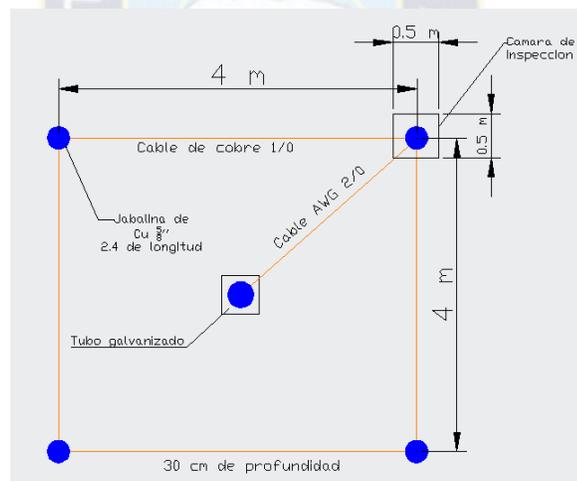
FUENTE: [www.alternativasolar.com/tienda/plantas-solares-fotovoltaicas/](http://www.alternativasolar.com/tienda/plantas-solares-fotovoltaicas/)

## 2.15. ATERRAMIENTO

El sistema de aterramiento deberá garantizar una resistividad menor o igual a 5 ohmios. Sera de tipo malla cuadrangular, con cuatro polos de disipación con las siguientes características:

- La ubicación será alrededor de la base de la antena con dimensiones iguales a 4 metros por cada lado.
- Cada esquina de la malla será enterrada, a una profundidad mínima de 2.6 metros, jabalinas de 5/8" (cinco octavos de pulgadas) de diámetro y de 2.4 metros de longitud.
- Las jabalinas estarán unidas en la malla mediante cable de cobre desnudo AWG 1/0. Todas las uniones se realizarán con soldadura exotérmica o Cadwell. No se permitirán empalmes en el cable entre jabalinas.
- El cable de cobre desnudo deberá estar enterrado en una zanja de aproximadamente 20 cm de ancho por 50 cm de profundidad.

**FIGURA Nº 24**  
**DIAGRAMA DE LA MALLA DE MANTENIMIENTO**



FUENTE: Elaboración propia

En un vértice de la malla se instalará la cámara de inspección compuesta por tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro y 40 cm de largo, con su respectiva tapa de protección, de este punto se realizará la medición de tierras.

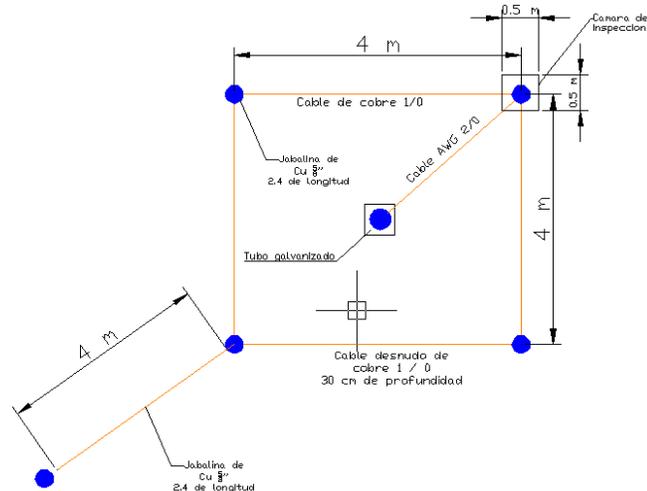
El tratamiento a realizarse en cada fosa comprende aditivos químicos y naturales constituidos por geogel o thorgel, una bolsa de 7 kgr., por cada jabalina, carbón, abono

animal y tierra negra, esto combinados, en función del tipo de terreno. Las fosas tendrán una dimensión de 0.50 de largo x 0.50 de ancho x 1.00 de profundidad metros.

Con este arreglo y tratamiento de tierra se estima obtener un nivel de resistencia menor o igual a 5 ohmios, en caso de no lograr el valor esperado se agregara una quinta jabalina de cobre de 5/8 de diámetro y de 2.4 metros de longitud, con su respectivo tratamiento en base a thorgel o geogel.

A continuación se ve el diagrama de la malla de aterramiento con 5 jabalinas.

**FIGURA Nº 25**  
**DIAGRAMA DE ATERRAMIENTO CON 5 JABALINAS**



**FUENTE:** Elaboración propia

En terrenos complicados se implementarían otras técnicas adicionales que dependerán de las condiciones del lugar en particular, que pueden referirse a aumentar el material de tratamiento de tierras. Se considera que estas situaciones podrán presentarse en terrenos muy duros o rocosos.

## **CAPITULO III AMBITO DEL PROYECTO**

### **3. ASPECTOS ESPACIALES**

#### **3.1. Ubicación geográfica**

##### **3.1.1. Latitud y Longitud**

Geográficamente, el Municipio de San Buenaventura se encuentra ubicado al sud este de la Provincia Abel Iturralde, al nor este del Departamento de La Paz. Está comprendido entre las coordenadas 57° 45' de longitud oeste y 38° 20' de latitud sud. A una altitud de 200 msnm.

##### **3.1.2. Límites territoriales**

- **Límites Legales**

El municipio de San Buenaventura colinda al norte y oeste con el municipio de Ixiamas, primera sección municipal de la Provincia Abel Iturralde del Departamento de La Paz; al este con el Municipio de Rurrenabaque y al nor este con el Municipio de Reyes, ambos de la Provincia Ballivián del Departamento del Beni; al sur y oeste con el municipio de Apolo Provincia Franz Tamayo del Departamento de La Paz.

- **Limites Naturales**

San Buenaventura, al norte abarca hasta el Río Tarene; al sur, hasta el Río Tuichi; al este, hasta el Río Beni y al oeste, hasta el Río Tuichi y el Arroyo Tarene. El municipio de San Buenaventura, Segunda Sección Municipal de la Provincia Abel Iturralde, se encuentra a una distancia de 450 Kms. de la ciudad de La Paz.

- **Extensión**

La extensión territorial de la Provincia Abel Iturralde es de 42.815 Km<sup>2</sup>., de los cuales 2.781 Km<sup>2</sup> pertenecen al municipio de San Buenaventura.

### **3.2. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA**

De conformidad al Artículo 108 de la Constitución Política del Estado, el territorio de la República se divide políticamente en departamentos, provincias, secciones municipales y cantones. Por su parte, la Ley de Participación Popular 1551, establece en su artículo 12, que la jurisdicción territorial de los Municipios comprende toda la Sección de Provincia.

#### **3.2.1. Cantones del municipio**

El Municipio de San Buenaventura cuenta con 3 cantones: San Buenaventura, donde está la capital de la segunda sección; Tumupasa y San José de Uchupiamonas. La población de San Buenaventura y Tumupasa se encuentran ubicados a lo largo de la carretera entre San Buenaventura e Ixiamas, en cambio la población de San José de Uchupiamonas se sitúa en el corazón del Parque Nacional Madidi, cuyo acceso es posible por vía fluvial y vía terrestre, pero muy accidentado en épocas de lluvia.

**CUADRO Nº 1**  
**SUPERFICIE DE LOS CANTONES**

Cantones	Comunidades	Extensión	
		Kms2	%
San Buenaventura	16	964.01	34 %
Tumupasa	13	1145.14	41 %
San José de Uchupiamonas	1	712.12	25 %
Totales	30	2821.75	100 %

FUENTE: INE 2010.

**3.2.2. Comunidades y Centros Poblados**

El municipio está conformado por 30 comunidades, de las cuales 13 son indígenas y 17 campesinas; del total de Comunidades 21 están concentradas y 9 son dispersas. El municipio cuenta con 40 OTBs, (Organizaciones Territoriales de Base), de las cuales 33 son rurales y 7 son urbanas.

**CUADRO Nº 2**  
**COMUNIDADES DEL MUNICIPIO**

CANTONES		
Cantón San Buenaventura	Cantón Tumupasa	Cantón San José de Uchupiamonas
Comunidades	Comunidades	Comunidades
San Buenaventura (Capital)	Esmeralda I	San José de Uchupiamonas
Villa Alcira	Everest	
San Miguel de Bala	7 de Diciembre	
Capaina	Santa Ana	
Altamarani	25 de Mayo	
Tres Hermanos	La Esmeralda	
Cachichira	Nueva Palestina	
Villa Fátima	Tumupasa	
Eyiyoquibo	San Silvestre (Napashi)	
Bella Altura	Paraíso	

Buena Vista	Río Colorado	
San Isidro	Hurehuapo	
Porvenir	Cinteño	
Nueva Jerusalén		
El Dorado		
Villa Aroma		

FUENTE: PDM. 2010

Las comunidades del municipio están dispersas y concentradas, según el tipo de organización y asentamiento, como se detalla a continuación:

### CUADRO Nº 3 COMUNIDADES Y TIPO DE ORGANIZACIÓN

COMUNIDADES	Dispersa/ Concentrada	Tipo de organización
<b>San Buenaventura</b>		
San Buenaventura(Capital)	Concentrada	Vecinal
Villa Alcira	Concentrada	Indígena
San Miguel de Bala	Concentrada	Indígena
Capaina	Concentrada	Indígena
Altamarani	Concentrada	Indígena
Tres Hermanos	Concentrada	Indígena
Cachichira	Concentrada	Indígena
Villa Fátima	Concentrada	Indígena
Eyiyuquibo	Concentrada	Indígena
Bella Altura	Concentrada	Indígena
Buena Vista	Concentrada	Indígena
San Isidro	Concentrada	Campesina
Porvenir	Dispersa	Campesina
Villa Aroma	Dispersa	Campesina
Nueva Jerusalén	Dispersa	Campesina
El Dorado	Dispersa	Campesina
<b>Tumupasa</b>		
Esmeralda I	Dispersa	Campesina

Everest	Concentrada	Campesina
7 de Diciembre	Concentrada	Campesina
Santa Ana	Concentrada	Campesina
25 de Mayo	Concentrada	Campesina
La Esmeralda	Concentrada	Campesina
Nueva Palestina	Dispersa	Campesina
Tumupasa	Concentrada	Indígena
San Silvestre (Napashi)	Concentrada	Indígena
Paraíso	Dispersa	Campesina
Río Colorado	Dispersa	Campesina
Hurehuapo	Concentrada	Campesina
Cinteño	Dispersa	Campesina
<b>San José de Uchupiamonas</b>		
San José de Uchupiamonas	Concentrada	Indígena

FUENTE: PDM. 2010

El municipio se caracteriza por ser eminentemente rural, sin embargo, ha iniciado un proceso de desarrollo urbano, cuyas obras de ordenamiento urbano se reflejan sobre todo en la capital de la sección municipal; y en la localidad de Tumupasa existen zonas semiurbanas, cuyo crecimiento exige inversión en obras de infraestructura. En el cuadro 4 citamos las zonas en proceso de urbanización.

**CUADRO Nº 4**  
**ZONAS URBANAS**

SAN BUENAVENTURA		TUMUPASA	
OTBs Urbanas	Familias	OTBs Urbanas	Familias
Sur	130	Norte	48
Central	154	Buanavi	52
16 de Julio	170	Horizonte	55
Jardín Miraflores	25	Candelaria	45
Norte	70	Maracani	47
3 de Mayo	70	3 de Mayo	53
Buen retiro	85		
<b>Total</b>	<b>704</b>		<b>300</b>

FUENTE: PDM. 2010

El manejo espacial del municipio se efectúa en dos ámbitos: el municipal y el comunal. La Ley de Participación Popular establece una manera de manejo espacial, en base a la territorialización de las OTBs. En el ámbito comunal el manejo del espacio responde a lógicas comunitarias culturales, que representan el espacio físico de propiedad comunal y familiar.

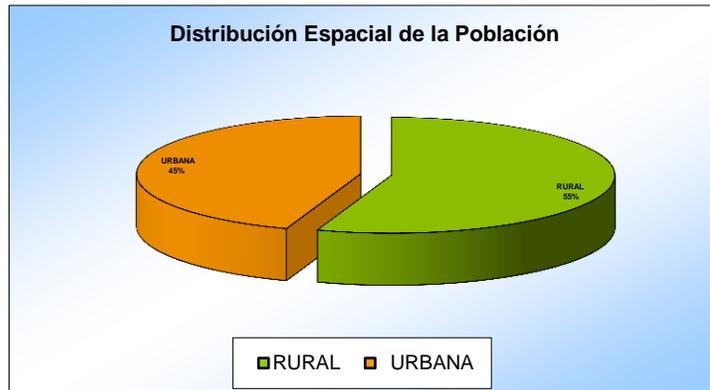
### **3.2.3. Uso y ocupación del espacio**

El espacio territorial del municipio de San Buenaventura está ocupado por 30 comunidades y 2 poblaciones urbanas. En consecuencia, es un municipio predominantemente Rural, más del 55 % de su población vive en el campo y el restante 45 % vive en la capital municipal, San Buenaventura. La mayor parte de las comunidades están ubicadas sobre el camino San Buenaventura - Ixiamas y en las riberas del río Beni, que se constituyen en los dos ejes estructurantes del municipio.

En cuanto a la ocupación del territorio; existen dos asentamientos humanos relativamente grandes y con características urbanas, el centro poblado de San Buenaventura (Capital del municipio), y la localidad de Tumupasa, con un número de habitantes aproximado de 3.500 y 1.200, respectivamente. Estos dos asentamientos tienen una ocupación nucleada o concentrada de su territorio.

En el área rural, la mayor parte de las comunidades, son pequeñas con poblaciones menores a los 500 habitantes y una ocupación mixta (entre nucleada y dispersa) de su territorio.

**GRÁFICO N° 1**



FUENTE: PDM. 2010

En lo que hace a la ocupación productiva del municipio, el cantón de San José de Uchupiamanas - con una sola comunidad - se caracteriza por vivir básicamente del turismo, puesto que el cantón está asentada una TCO y está ubicada en medio del Parque Nacional Madidi. La comunidad es indígena originaria y cuenta con una empresa comunitaria de turismo, denominada Chalalan, que es administrada por la propia comunidad, siendo su principal oferta turística la laguna del mismo nombre.

En cambio, Tumupasa se caracteriza por ser un cantón netamente agropecuario, ya que sus comunidades están a lo largo de la carretera San Buenaventura a Ixiamas, sus habitantes se dedican a la producción tradicional de arroz, yuca, plátano, maíz y muy poco al cacao, cítricos y hortalizas. En segundo lugar, se dedican a la crianza de ganado vacuno (3 a 10 cabezas por familia); crianza de cerdos, (3 por familia) y crianza de pollos, (10 por familias). Por tratarse de una producción agropecuaria muy precaria, hace que los campesinos recurran a la caza y pesca para sobrevivir, en todo caso recurren a la tala de árboles para vender a los aserraderos.

El cantón de San Buenaventura, se caracteriza por ser agropecuario y turístico, hay una complementación entre lo agrícola y turístico, ya que cuenta con dos tipos de comunidades: las agropecuarias que se encuentran sobre el camino San Buenaventura – Tumupasa; y las turísticas que se encuentran sobre las riberas del río Beni (río arriba

y bajo). Este cantón tiende a consolidarse como turístico, considerando que hay comunidades que se dedican también a la artesanía<sup>19</sup>.

### **3.3. DEMOGRAFÍA**

El estudio demográfico en la elaboración del Plan de Desarrollo Municipal, permite estimar el tamaño, la composición, distribución, densidad, crecimiento, tasas de mortalidad, tasa de natalidad y migración del municipio.

#### **3.3.1. Aspectos poblacionales.**

De acuerdo a datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2012, el Municipio de San Buenaventura cuenta con una población empadronada de 8.711 habitantes, de las cuales 4.620 (53%) son hombres y 4.091 (47%) son mujeres.

En cuanto a la estructura de la población por edad (estructura etaria), los datos del último censo de Población y Vivienda nos permiten apreciar que la población es bastante joven, valores de natalidad altos, ya que existe una gran cantidad de nacimientos recientes (1.178 entre 0 a 4 años), mientras que en el rango de 15 a 19 años se tiene una población de 938 habitantes (472 varones y 466 mujeres).

Solo la población entre 0 a 19 años de edad alcanza al 48.2%, mientras que la cantidad de habitantes entre los 0 a 39 años de edad, se tiene el 77.6%.

Del total de la población censada en el Municipio de San Buenaventura, el 65.3% (5.689) de los habitantes se auto identifica como parte de un pueblo indígena originario, siendo que 3.240 (37% de la población total del Municipio y 57% de la población auto identificada como indígena originario) de estos habitantes se identifica como Tacana; mientras que el 6.7% (583) de los habitantes se identifica de manera propia como parte

del pueblo indígena de San José de Uchupiamonas; y 207 habitantes se consideran parte del pueblo Esse Ejja dentro el Municipio de San Buenaventura.

**GRAFICO Nº 2**  
**POBLACION DEL MUNICIPIO DE SANBUENAVENTURA**



Fuente: Elaboración propia, con base a datos del CNPV 2012.

## **CAPITULO IV**

### **MARCO PRÁCTICO**

#### **4. INTRODUCCION**

La planificación radio es una actividad fundamental en toda la red de telefonía móvil celular por su gran influencia en la consecución de los objetivos de cobertura, capacidad y calidad que el operador ha establecido para satisfacción de sus clientes, así como los de índice económico para optimizar las inversiones en la planta técnica.

En lo que a cobertura se refiere, el objetivo es maximizar el área de cobertura de cada estación base minimizando así la infraestructura requerida.

Correspondientemente, las necesidades en número de estaciones base debe ser minimizada en el plan de capacidad para así reutilizar los canales de frecuencia tanto como sea posible. Todo esto tiene dos visiones enfrentadas, por un lado maximizar el área de cobertura de cada estación base es fruto del aumento de las alturas de las antenas instaladas, y por otro, maximizar la capacidad de la red reutilizando frecuencias requiere minimizar la altura de las antenas. Es decir, hay que llegar a una solución de compromiso entre cobertura y capacidad a través de la calidad planificada, diseñando para ello, un plan de frecuencias.

#### **4.1. FASES DEL PROCESO**

El proceso de planificación se divide en tres fases:

**FIGURA N° 26:**  
**FASES DE PLANIFICACION DEL SISTEMA DE RADIO**



FUENTE: Elaboración Propia

La primera fase (*fase de dimensionamiento*) tiene como propósito hacer un boceto de la red y establecer una estrategia a largo plazo, definiendo los valores de los principales parámetros y las tecnologías a utilizar. Es aquí donde se aportan datos como:

- Tamaño de la zona a cubrir
- Banda de frecuencia a utilizar (900/1800 MHz)
- Canales disponibles dentro de la banda
- Umbrales de cobertura (indoor/outdoor)
- Tráfico estimado a cubrir
- Máximo número de frecuencias por estación base
- Máxima probabilidad de bloqueo planificada

Teniendo en cuenta que a lo largo de la vida de la red su tráfico aumentará año tras año, este análisis debe hacerse pensando en diferentes demandas de tráfico. Esto evitará continuas reconfiguraciones en el futuro minimizándolas en número.

Planificación detallada es la segunda fase del proceso. En esta fase la red es diseñada basándose en las limitaciones fijadas en la fase de dimensionamiento. La planificación se hace en tres planes:

- Plan de cobertura, a través de simulaciones previo ajuste de los modelos de propagación a usar
- Plan de capacidad, una vez seleccionados los sitios
- Plan de frecuencias

Por último, la fase de optimización y monitorización tiene lugar una vez implementada la red y a lo largo de toda su vida. Tras la puesta en marcha de la red (proceso escalonado) se deben hacer continuas re-planificaciones (*Optimización*) pero ya con datos y estadísticas reales (*Monitorización*) puesto que la información con la que se planificó y configuró originalmente nunca es exacta y además las demandas de cobertura y tráfico varían día a día. Esta fase no es analizada en este proyecto.

## 4.2. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS CELULARES

### 4.2.1. Tráfico celular

La interfaz de las redes celulares en la telefonía móvil, para los canales de tráfico, se dimensionan como un sistema de llamadas perdidas. Por consiguiente, la probabilidad de bloqueo se calcula mediante la fórmula de Erlang B, dada por:

$$\rho_b = B(N, A)$$

**Ecuación 1**

Desde el punto de vista del usuario que realiza la llamada, la tentativa puede frustrarse además de por bloqueo, porque la terminal destinatario este apagado o fuera de cobertura. En estos casos el llamante recibe una locución informativa. Descartando el caso de terminal apagado, la probabilidad de que la tentativa de llamada se pierda es:

$$\rho = 1 - (1 - \rho_b) \cdot \rho_c$$

**Ecuación 2**

Donde  $\rho_c$  es la probabilidad de cobertura que es uno de los objetivos de calidad de una red celular. Un importante parámetro de calidad de la interfaz de radio es el denominado grado de servicio, GOS (*Grade of Service*) definido así:

$$GOS(\%) = 100 \cdot \rho$$

### **Ecuación 3**

En general, se establecen como criterios de calidad valores de  $\rho_b$  y  $\rho_c$ , y a partir de ellos se obtiene GOS.

## **4.3. DISEÑO DE LA RED RADIO CELULAR**

### **4.3.1. Consideraciones generales**

La realización del diseño de la red radio es función de la estrategia adoptada por cada operador según las zonas a las que se desea dar cobertura (rural, urbana, túneles, interiores), calidad de cobertura (equipo portátil en la calle, dentro de vehículos), congestión de llamadas, probabilidad de interrupción, tiempos de conexión.

De una forma general, el diseño de la red radio celular comprende:

1. Definición de los objetivos de cobertura
2. Establecimiento de las estructuras celulares y parámetros de diseño
3. Selección de los emplazamientos donde se ubicaran las estaciones base
4. Determinación de los sistemas radiantes que van a emplearse y de la posición en que deben instalarse
5. Equipamiento de la estación base (tipo de equipo a emplear y capacidad con que se va a dotar al mismo (número de TRX))
6. Establecimiento de los parámetros con que va a funcionar esta nueva estación: potencia de salida, parámetros de control de los algoritmos de traspaso, vecindades, etc.
7. Planificación de frecuencias
8. Establecimiento de las funcionalidades a emplear (control de potencia, transmisión discontinua, algoritmos de asignación de canales, etc.)

Todos estos puntos dependen directamente de los condicionantes de cobertura y calidad que el operador se haya propuesto como objetivo, en este proyecto se tomaran algunos de los puntos para ser aplicados en el estudio de la planificación.

#### **4.3.2. Escenarios de cobertura**

Pueden distinguirse dos escenarios totalmente diferentes que condicionan completamente la manera de hacer el diseño: entorno rural y entorno urbano.

##### **4.3.2.1. Diseño en entornos rurales**

Al hablar de entornos rurales, nos referimos a zonas con poca densidad de población: pueblos pequeños, carreteras, etc. En estos casos, al ser muy baja la densidad de tráfico, el diseño viene directamente por la cobertura que es necesario proporcionar. Las características de los sistemas celulares resultantes son las siguientes:

- Sistema celular limitado por ruido
- Celdas de gran tamaño

El diseño final dependerá de los criterios de cobertura que se quieran cumplir. Así, puede haber diseños orientados a cobertura de poblaciones, otros orientados a cobertura continua en carreteras y otros que buscan cubrir altos porcentajes de territorio. En el primero de los casos, las estaciones base tenderán a situarse dentro de los núcleos de población, en el segundo, se encontraran próximas a los trazados de la carreteras, estando la distancia entre estaciones y la posición de las mismas determinada básicamente por la orografía del terreno, y en el tercer caso se tenderá a emplazar las BTS en lugares muy altos, siguiendo una idea semejante a la del diseño de estaciones para radiodifusión.

#### 4.3.2.2. Diseño en entornos urbanos

Las condiciones de cobertura en el diseño de la red de radio de un núcleo urbano se traducen en el porcentaje de edificios a los que se pretende dar cobertura de interiores.

Las pérdidas por penetración en los edificios son muy elevadas, y esto hace que, si se quiere dar una cobertura exhaustiva en interiores, la densidad de estaciones base resultante sea muy grande. Al ser el tráfico muy elevado, y muy concentrado en zonas relativamente pequeñas, la reutilización de frecuencias resultante es muy alta. Como el número de estaciones base es muy grande, la distancia de reutilización debe ser muy pequeña, lo cual obliga a controlar cuidadosamente la radiación de las antenas para conseguir cubrir la zona deseada sin excesiva interferencia, ya que, de otra forma, se degradaría notablemente la calidad del servicio ofrecido en las celdas que reutilizaran frecuencias con la celda interferente.

Los sistemas celulares en entornos urbanos tendrán las siguientes características:

- Sistemas limitados por interferencia
- Radio celular pequeño

En cuanto a las estaciones base, sus emplazamientos y los sistemas radiantes empleados, se pueden enumerar las siguientes características:

- Emplazamientos poco dominantes, pero sin obstáculos próximos
- Antenas situadas a poca altura sobre el edificio deseado
- Celdas generalmente trisectoriales
- Antenas con bastante inclinación mecánica y/o eléctrica
- Diversidad de recepción

## 4.4. MÉTODOS DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDA BÁSICA EN MEDIO URBANO (ENLACE PUNTO - PUNTO, PUNTO - MULTIPUNTO)

### 4.4.1. Zona de Fresnel

En comunicaciones por radio o inalámbricas, la zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de existir una visibilidad directa entre la antena receptora y transmisora.

Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de la misma al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de la señal recibida.

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares a la sección transversal, y concéntricas con las primeras. El concepto de las zonas de Fresnel se puede también utilizar para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de la señal de radio. La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel, considerándose como Línea de vista (LOS), el caso contrario cuando las obstrucciones son más significativas es considerado como sin Línea de vista (NLOS). El radio  $r$  se puede calcular de la siguiente forma:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{Df}}$$

**Ecuación 4**

Dónde:

$d_1$ : Distancia al obstáculo desde el transmisor (km)

$d_2$ : Distancia al obstáculo desde el receptor (km)

$r$ : Radio (m)

D: Distancia entre el transmisor y receptor (km)

f: Frecuencia transmitida (GHz)

Si el obstáculo está situado en el medio ( $d_1 = d_2$ ), la formula se simplifica:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

**Ecuación 5**

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 17.32 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}}$$

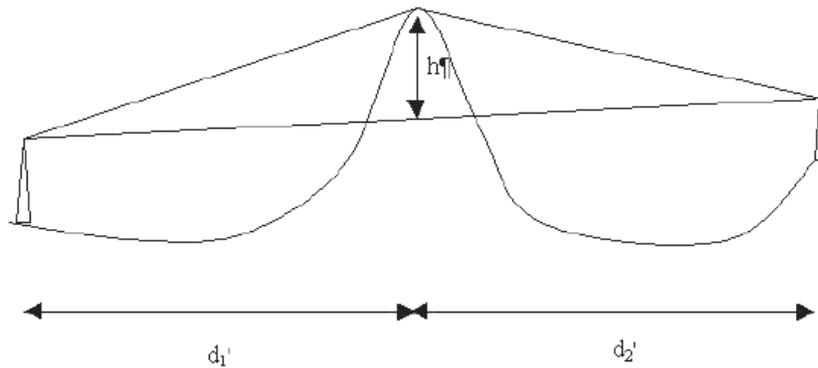
**Ecuación 6**

Dónde:

$r_n$ : Radio de la enésima zona de Fresnel

**FIGURA Nº 27**

**ESQUEMA DE LA ZONA DE FRESNEL**



FUENTE: [www.wi2be.com/suporte/calculo-do-enlace-de-micro-ondas/](http://www.wi2be.com/suporte/calculo-do-enlace-de-micro-ondas/)

#### 4.4.2. Distancia

A partir de la siguiente ecuación se determina la distancia entre los dos puntos de enlace:

$$D = \frac{2\pi * R_o}{360} * \Delta$$

#### Ecuación 7

Dónde:

$R_o$  : Radio de la tierra = 6375 (km)

$$\Delta = \cos^{-1}(\sin a * \sin b + \cos a * \cos b * \cos c)$$

Dónde:

$a$ : Latitud de la estación A

$b$ : Latitud de la estación B

$c$ : Longitud de la estación A – longitud de la estación B

#### 4.4.3. Azimut

El azimut indica la orientación de la antena, este es medido en el sentido de las agujas del reloj entre la línea que une a la estación terrena con el norte geográfico.

Se determina con la siguiente ecuación:

$$\phi = \cos^{-1} \left( \frac{\sin b - \sin a * \cos \Delta}{\cos a * \sin \Delta} \right)$$

#### Ecuación 8

Dónde:

$a$ : Latitud de la estación A

$b$ : Latitud de la estación B

$c$ : Longitud de la estación A – longitud de la estación B

$$\Delta = \cos^{-1}(\sin a * \sin b + \cos a * \cos b * \cos c)$$

Por otra parte se tiene:

$$\Delta z_A = 180 - \phi$$

$$\Delta z_B = 360 - \phi$$

Azimut para cada punto sea A o B.

#### 4.4.4. Angulo de elevación

El ángulo de elevación indica la orientación vertical de las antenas.

$$A_E = \tan^{-1} \left( \frac{h_1 - h_2}{D} \right)$$

**Ecuación 9**

Dónde:

$h_1$ : Punto de mayor altitud

$h_2$ : Punto de menor altitud

D: Distancia

#### 4.4.5. Pérdida de espacio libre (PEL)

La propagación de espacio libre se refiere a la propagación de una onda electromagnética en un medio dieléctrico homogéneo ideal que se pueda considerar infinito en todas las direcciones y donde las pérdidas son función únicamente de la frecuencia y distancia.

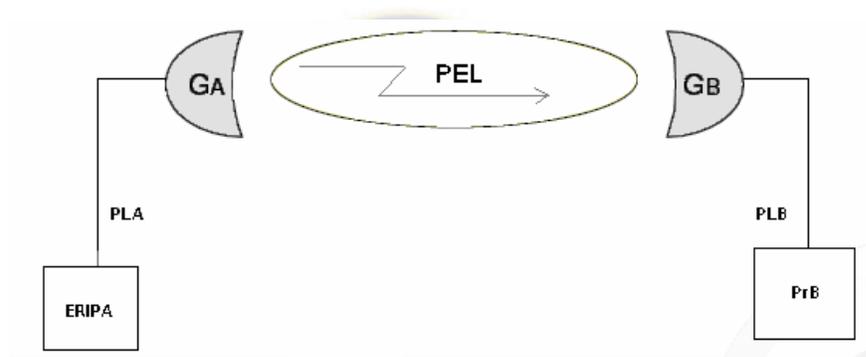
La pérdida en espacio libre se define entonces como la menor pérdida posible entre un transmisor y un receptor. Básicamente, el cálculo de la pérdida de transmisión de espacio libre considera fuentes isotrópicas en ambos extremos. Para un enlace A - B, la potencia de recepción en espacio libre está dada por:

$$L_o(dB) = 92,44 + 20\log f(GHz) + 20\log D(km)$$

$$L_o(dB) = 32,44 + 20\log f(MHz) + 20\log D(km)$$

**Ecuación 10**

**FIGURA N° 28**  
**PERDIDA DE ESPACIO LIBRE (PEL)**



FUENTE: [www.monografias.com/trabajos87/proyecto-implementacion-enlace-punto/proyecto-implementacion-enlace-punto.shtml](http://www.monografias.com/trabajos87/proyecto-implementacion-enlace-punto/proyecto-implementacion-enlace-punto.shtml)

#### 4.4.6. Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación.

$$L_D = 30 \log(D[km]) + 10 \log(6ABf[GHz]) - 10 \log(1 - R) - 70$$

**Ecuación 11**

Dónde:

$D$ : Distancia de salto

$A$ : Factor de rugosidad

$B$ : Probabilidad del peor mes

$f$ : Frecuencia

$R$ : Representa la confiabilidad o disponibilidad del sistema

La siguiente tabla representa los valores para A y B respectivamente:

**TABLA N° 2:**  
**VALORES DE FACTORES A Y B**

A	DESCRIPCION	B	DESCRIPCION
4	Sobre agua y terreno muy parejo	0.5	Áreas calientes y húmedas
1	Sobre terreno normal	0.25	Áreas distantes de la costa y normales
0.25	Sobre terreno disparejo o montañoso	0.125	Áreas montañosas y secas

FUENTE: Elaboración Propia

#### 4.4.7. Ganancia de antena

$$G_a = 18 + 20 \log \theta(m) + 20 \log f(GHz)$$

**Ecuación 12**

Dónde:

$\theta$ : Diámetro de la antena

$f$ : Frecuencia

#### 4.4.8. Perdida por acoplamiento

$$P_b(dB) = P_{bTx} + P_{bRx}$$

**Ecuación 13**

Dónde:

$P_{bTx}$ : Perdida por acoplamiento en transmisión

$P_{bRx}$ : Perdida por acoplamiento en recepción

#### 4.4.8. Perdida del cable

$$P_f(dB) = X \frac{dB}{100 m} * Y (m)$$

**Ecuación 14**

Dónde:

$X$ : Factor de pérdida

Y: Longitud del cable

#### 4.4.9. Perdida por difracción

Esta pérdida es tomada en cuenta cuando en el enlace se encuentra un obstáculo que impide la línea de vista.

Primeramente se debe confirmar si existe dicha interferencia sacando la zona de Fresnel en el obstáculo, y confirmar si existe despeje óptimo gracias a la siguiente fórmula:

$$\Delta h(m) = h_1 - \frac{d_1(m)}{D(m)} * (h_1 - h_2) - \frac{d_1(m) * d_2(m)}{2KR_o(m)}$$

**Ecuación 15**

Dónde:

$h_1$ : Altura de la estación A, incluida la antena

$h_2$ : Altura de la estación B, incluida la antena

Condición:

$\Delta h(m) > F_1$ ; Existe despeje óptimo

$\Delta h(m) < F_1$ ; No existe despeje óptimo

La fórmula para identificar la perdida por difracción es la siguiente:

$$v = h_o \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

**Ecuación 16**

Dónde:

$\lambda$ : Velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$ )

$h_o$ : Altura del obstáculo desde la línea de vista interrumpida

$d_1$ : Distancia del obstáculo desde el transmisor

$d_2$ : Distancia restante comparación con la distancia de salto

Existen diferentes tipos de objetos los cuales poseen sus diferentes cálculos en este proyecto solo los mencionaremos debido a que el enlace a realizar no presentara estos tipos de terreno:

- La difracción por objetos delgados
- Difracción por obstáculos redondos o tipo meseta
- Difracción en obstáculos múltiples (superior a tres)

#### 4.4.10. Perdida de atenuación por lluvias

La atenuación por lluvias es despreciada para frecuencias menores a 5 (GHz), para nuestro enlace tenemos una frecuencia mayor a la de 5 (GHz), por lo tanto, es importante tomar en cuenta esta perdida.

La atenuación por lluvias puede ser calculada a partir de la recomendación UIT-R 838, en la cual apreciamos un mayor número de valores.

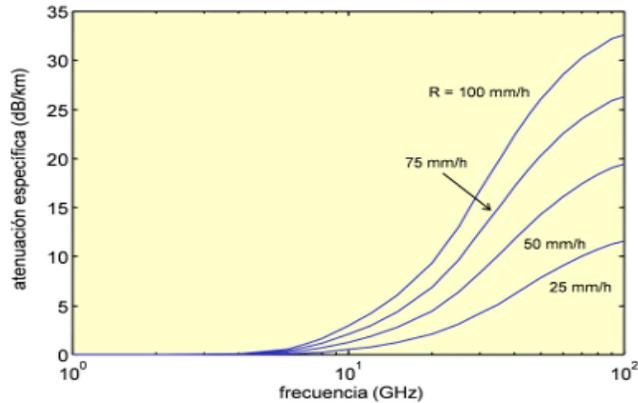
**TABLA 3:**  
**COEFICIENTES DE REGRESION**

FRECUENCIA	POLARIZACION	
	k	$\alpha$
6	0.00175	1.308
8	0.00454	1.327
10	0.0101	1.276
20	0.0751	1.099
30	0.187	1.021
40	0.350	0.939
60	0.707	0.826
100	1.12	0.743

FUENTE: Elaboración propia

En la siguiente figura se representa las curvas de atenuación por lluvias en función de la frecuencia y para distintos valores de precipitación.

**FIGURA Nº 29**  
**ATENUACION PARA DISTINTAS INTENSIDADES DE LLUVIA**



FUENTE: [www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-lluvia-en-un-radioenlace](http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-lluvia-en-un-radioenlace)

Una vez encontrados los coeficientes de regresión ponemos en uso la fórmula:

- Para latitudes mayores a 30° de latitud sur o norte

$$A_{LL} = 0.12 * k * R_{0.01}^{\alpha} * P^{-(0.546+0.043 \log P)} * \left( \frac{d_o * d}{d_o + d} \right)$$

**Ecuación 17**

- Para latitudes menores a 30° de latitud sur o norte

$$A_{LL} = 0.07 * k * R_{0.01}^{\alpha} * P^{-(0.855+0.139 \log P)} * \left( \frac{d_o * d}{d_o + d} \right)$$

**Ecuación 17**

Dónde:

P: Porcentaje de tiempo = 0.01

d: Distancia de salto

- Para  $R_{0.01}$  menor o igual a 100 (mm/h)

$$d_o = 35e^{-(0.015 \cdot R_{0.01})}$$

- Para  $R_{0.01}$  mayor a 100 (mm/h)

$$d_o = 35e^{-(1.5 \cdot R_{0.01})}$$

#### 4.4.11. Pérdida total del trayecto

$$PT = P_f + P_b + P_c + L_o$$

##### Ecuación 19

Dónde:

$PT$ : Pérdida total del trayecto

$P_f$ : Pérdida en conectores

$P_b$ : Pérdida de acoplamiento

$P_c$ : Pérdida de línea de transmisión

$L_o$ : Pérdida de espacio libre

#### 4.4.12. Ganancia total

$$GT = G_{Tx} + G_{Rx}$$

##### Ecuación 20

Dónde:

$G_{Tx}$ : Ganancia en transmisión

$G_{Rx}$ : Ganancia en recepción

#### 4.4.13. Ganancia del sistema

$$G_s = PT - GT$$

##### Ecuación 21

Dónde:

$PT$ : Pérdida total

$GT$ : Ganancia total

#### 4.4.14. Potencia de ruido

$$N = -174 + 10 \log(B[\text{Hz}])$$

**Ecuación 22**

Dónde:

$B$ : Ancho de banda

#### 4.4.15. Potencia de recepción en espacio libre

$$C_o = P_t - LT + GT$$

**Ecuación 23**

$P_t$ : Potencia de transmisión

$PT$ : Pérdida total

$GT$ : Ganancia total

#### 4.4.16. Potencia mínima de portadora

$$C_{min} = P_t - G_s$$

**Ecuación 24**

Dónde:

$P_t$ : Potencia de transmisión

$G_s$ : Ganancia del sistema

#### 4.4.17. Relación portadora a ruido

Representa la relación entre el nivel de la señal recibida y el nivel del ruido antes de la modulación.

$$\frac{C}{N} = C_o - N$$

**Ecuación 25**

Dónde:

$C_o$ : Potencia de recepción en espacio libre

$N$ : Potencia de ruido

**4.4.18. Relación portadora mínima a ruido**

$$\frac{C_{min}}{N} = C_{min} - N - NF$$

**Ecuación 26**

Dónde:

$C_{min}$ : Potencia mínima de portadora

$N$ : Potencia de ruido

**4.4.19. Relación portadora sensibilidad a ruido**

$$\frac{CS}{N} = S - N$$

**Ecuación 27**

Dónde:

$S$ : La sensibilidad del equipo

$N$ : Potencia de ruido

**4.4.20. Margen de umbral**

Se considera cuando la potencia de la señal recibida es inferior al valor del umbral, la salida deja de ser útil.

$$MU = C_o - S$$

**Ecuación 28**

Dónde:

$C_o$ : Potencia de recepción en espacio libre

S: Sensibilidad

#### 4.4.21. Probabilidad de servicio

La probabilidad de servicio se basa en la siguiente fórmula:

$$I_T = I_E + I_D + I_{LL}$$

#### Ecuación 29

Dónde:

$I_T$ : Indisponibilidad total

$I_E$ : Indisponibilidad del sistema

$I_D$ : Indisponibilidad por propagación

$I_{LL}$ : Indisponibilidad por atenuación de lluvias

Para el cálculo de la indisponibilidad del sistema:

$$I_E = \frac{MTTR}{MTTR + MTBF} * 100\%$$

#### Ecuación 30

Dónde:

$MTTR$ : Tiempo medio de reparación valor típico (24 horas)

$MTBF$ : Tiempo medio entre fallas valor típico (250.000 horas / también depende del equipo)

Para el cálculo de la indisponibilidad por propagación:

$$I_D = P_o * 10^{-\frac{MU}{10}} * 100\%$$

#### Ecuación 31

Dónde:

$$P_o = k * w^{-1.3} * f * D^3$$

### Ecuación 32

$K$ : Depende del clima en el cual se encuentra el enlace

$w$ : Factor de terreno:  $3(m) \leq w \leq 42(m)$ , se aconseja usar 26 (m)

En la siguiente tabla se enlistan los valores que puede tener  $K$  dependiendo el terreno en el que se trabaje:

**TABLA N° 4**  
**DATOS PARA LA CONSTANTE K**

<b>K</b>	<b>DESCRIPCION</b>
$4.1 \times 10^{-5}$	Clima de gran humedad y temperatura
$3.1 \times 10^{-5}$	Climas marítimos subtropical
$2.1 \times 10^{-5}$	Climas continental interior
$1 \times 10^{-5}$	Clima montañoso y seco

Fuente: Elaboración Propia

Por último tenemos el cálculo de indisponibilidad por atenuación por lluvias:

$$I_{LL} = 10^{11,68 \left( -0,855 + \sqrt{0,731 + 0,172 \log 0,07 * \frac{R_{0,01}}{MU}} \right)}$$

### Ecuación 33

Dónde:

$MU$ : Margen de umbral

$R_{0,01}$ : Coeficiente de regresión

Una vez finalizado estos cálculos tenemos que hallar la indisponibilidad total, por último obtendremos la probabilidad del servicio:

$$P_S = 100 - I_T$$

### Ecuación 34

Para que el enlace se factible este debe ser  $\geq 99,97\%$ .

#### 4.4.22. Método Okumura

Este modelo se utiliza para ambientes urbanos dentro de las frecuencias de 150MHz a 1920MHz. Las pérdidas en este modelo se calculan con la siguiente ecuación:

$$L_p(dB) = L_F + A_{mu} - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{area}$$

#### Ecuación 35

Dónde:

$L_p$ : Pérdidas por trayectoria en decibeles

$L_F$ : La atenuación por el espacio libre

$A_{mu}$ : Atenuación relativa promedio

$G(h_{te})$ : Ganancia de la altura de la antena de Tx

$G(h_{re})$ : Ganancia de la altura de la antena de Rx

$G_{area}$ : Ganancia debida al tipo de ambiente

Okumura encontró que  $G(h_{te})$  tiene una variación de pérdidas de 20dB/década y que  $G(h_{re})$  tiene una variación de 10 dB/década para alturas menores de 3m.

$$G(h_{re}) = 20\log(h_{te}/200) \text{ Para } 30m < h_{te} < 1000m$$

$$G(h_{re}) = 10\log(h_{te}/3) \text{ Para } h_{re} < 3m$$

$$G(h_{re}) = 20\log(h_{te}/3) \text{ Para } 3m < h_{re} < 10m$$

#### Ecuación 36

#### 4.4.23. Método de Okumura – Hata

El modelo se basa en unas campañas medidas efectuadas en Japón. A partir de estas medidas Okumura elaboro unas curvas de propagación que proporcionan valores de la intensidad de campo para medios urbanos.

Hata desarrollo, mediante un análisis de regresión múltiple, una serie de expresiones numéricas para las curvas de propagación de Okumura. Estas expresiones proporcionan el valor medio de la pérdida básica de propagación, para medios urbanos, suburbanos y rurales.

La fórmula básica de Hata, para un entorno urbano, es:

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log d$$

### Ecuación 37

Dónde:

$f$ : Frecuencia (MHz),  $150 < f < 1500$  MHz

$h_b$ : Altura efectiva de la antena de la estación base (m),  $30 < h_b < 200$  m

$h_m$ : Altura sobre el suelo de la antena de la estación móvil (m), con  $1 < h_m < 10$  m

$d$ : Distancia en km,  $1 < d < 20$  km

$a(h_m)$ : Corrección por altura  $h_m$

La altura efectiva de la antena de estación base es la altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel medio del terreno  $h_m$ , evaluado entre dos distancias de referencia  $d_1$  y  $d_2$ . Si  $d$  es la distancia para la que se estima la pérdida de propagación,  $d_1$  y  $d_2$  se determinan así:

$$\begin{array}{lll} d_1 = d/4 & d_2 = d & 1 < d < 8 \text{ km} \\ d_1 = 3 & d_2 = d & 8 < d < 15 \text{ km} \\ d_1 = 3 & d_2 = 15 & d > 15 \text{ km} \end{array}$$

La altura efectiva de la antena se calcula como sigue:

$$h_b = h_o + C_o - \bar{h}$$

### Ecuación 38

Siendo  $h_o$  la altura de la antena sobre el suelo, y  $C_o$  la cota del terreno en el lugar en que se encuentra la antena y  $\bar{h}$  es la altura media del terreno.

- Ciudad mediana – pequeña:

$$a(h_m) = (1,1 \log f - 0,7)h_m - (1,56 \log f - 0,8)$$

**Ecuación 39**

- Ciudad grande:

$$a(h_m) = 8,29(\log 1,54h_m)^2 - 1,1 \quad f \leq 200\text{MHz}$$

$$a(h_m) = 3,2(\log 11,75h_m)^2 - 4,97 \quad f > 400\text{MHz}$$

**Ecuación 40**

Cuando el receptor se encuentra en zonas suburbanas, la atenuación se calcula como:

$$L_{bs} = L_b - 2(\log(f/28))^2 - 5,4$$

**Ecuación 41**

Y si está en zonas rurales:

$$L_{br} = L_b - 4,78(\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94$$

**Ecuación 42**

La fórmula de Hata, en unidades naturales, tiene la siguiente estructura:

$$l_b = h * d^n$$

**Ecuación 43**

Refleja la conocida ley potencial de variación de la pérdida de propagación con la distancia. El exponente n, es:

$$n = 4.49 - 0.655 \log h_b$$

#### Ecuación 44

En ocasiones debe utilizarse de modo inverso, es decir calcular la distancia a la que hay un cierto valor de la pérdida básica  $L_b$ . El valor es:

$$d = 10^{\uparrow} \left( \frac{L_b - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_b + a(h_m)}{44.9 - 6.55 \log h_b} \right)$$

#### Ecuación 45

#### 4.4.24. Método COST 231 (EXTENSIÓN HATA)

Este método ha sido propuesto por el grupo de desarrollo la Acción Especial Europea COST 231 para con objeto de elaborar un modelos semi-empírico de propagación aplicable a ciudades europeas típicas. Es aplicable para los siguientes escenarios:

- Celdas grandes y pequeñas
- Microceldas

El método COST 231 está representado de la siguiente forma:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log d + CM$$

#### Ecuación 46

Dónde:

$CM$ : Es un factor de corrección para adecuar la frecuencia hasta los 2 GHz,  $CM = 0$  para ciudades medianas y áreas sub urbanas.

$CM = 3$  para centros metropolitanos.

El modelo es válido en los siguientes rangos:

$$150 \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$$

$$30 \leq h_b \leq 200 \text{ m}$$

$$1 \leq a(h_m) \leq 10 \text{ m}$$

$a(h_m)$  Corresponde al modelo HATA.

#### 4.4.24.1. Balances de enlaces

En este apartado apreciaremos los parámetros radioeléctricos más relevantes que intervienen en la preparación de los balances de enlaces.

#### 4.4.24.2. Potencia umbral

En GSM, el umbral de recepción tiene la relación  $E_b/N_o$ , este umbral es función del tipo canal lógico y de las condiciones de propagación, debido a los efectos de la dispersión temporal y desplazamiento Doppler propios del canal móvil.

En la recomendación GSM 05.05 se establecen los valores de referencia de  $E_b/N_o$  y de la sensibilidad para diferentes grados de calidad y las siguientes condiciones de propagación:

- TU50 (Medio urbano típico; velocidad 50 km/h)
- RA250 (Medio rural típico; velocidad 250 km/h)
- HT100 (Medio rural con terreno accidentado; velocidad 100 km/h)

El valor de la relación  $E_b/N_o$  de referencia de velocidad de modulación  $V_b = 270,833 = 271$  kbits/s. es igual a 8 dB, incluido un margen de realización de 2 dB, para la calidad mínima de servicio y sin interferencia. En  $N_o$  se considera únicamente el ruido interno del equipo.

La recomendación proporciona los siguientes valores típicos de S:

- Para equipos portátiles  $S = -102$  (dBm) ( $F_r = 10$  dB)
- Para estaciones móviles y estación base  $S = -104$  (dBm) ( $F_r = 8$  dB)

En este caso, la potencia de umbral viene dada por:

$$P_u(\text{dBm}) = S(\text{dBm}) + D_n(\text{dB})$$

#### Ecuación 47

Donde  $D_n$  es la degradación por ruido:

$$D_n(\text{dB}) = 10 \log \left( \frac{f_{sis}}{F_r} \right)$$

#### Ecuación 48

Dónde:

$f_{sis}$ : Factor de ruido del sistema receptor (en unidades naturales)

$$f_{sis} = F_a - 1 + L_f * F_{pa} + \frac{L_f}{G_{pa}} (L_{mc} F_r - 1)$$

#### Ecuación 49

Dónde:

$F_a$ : Factor de ruido de la antena

$L_f$ : Cable de conexión con una pérdida

$F_{pa}$ : Factor de ruido igual

$G_{pa}$ : Preamplificador de ganancia

$L_{mc}$ : Multiplicador de antena de pérdida

$F_r$ : Factor de ruido

#### 4.4.24.3. Márgenes

Como la sensibilidad se ha definido en ausencia de interferencia y en la práctica hay interferencia cocanal debida a la reutilización de frecuencias, se prevé un margen

$M_i$ (dB) para contrarrestar la degradación por interferencia. El informe técnico ETR103 (GSM 03.30) del ETSI, recomienda el valor  $M_i=3$  dB.

Por otro lado, debido a la existencia de zonas de sombra y el desvanecimiento lento normal asociado, se añade otro margen  $M(L)$  (dB) que es función del porcentaje de cobertura perimetral deseado. Este margen se calcula mediante la siguiente expresión:

$$M(L) = k(L) \cdot \sigma$$

**Ecuación 50**

Donde  $k(L)$  es la función de Gauss – inversa correspondiente al porcentaje  $L$  de cobertura perimetral (borde de la celda) y  $\sigma$  la desviación típica de la variabilidad de la señal con las ubicaciones. En la siguiente tabla se verán los valores de la función  $k(L)$  para los porcentajes más usuales:

**TABLA Nº 5:  
PORCENTAJES MAS USUALES FUNCION DE GAUSS – INVERSA**

PORCENTAJE	
L%	k (L)
50	0
75	0.67
90	1.28
95	1.64

FUENTE: Elaboración propia

Para cobertura GSM en medio urbano el valor típico de  $\sigma = 7$  (dB).

#### **4.4.24.4. Potencia Isotrópica y campo mediano en recepción**

El informe GSM 03.30 citado, define la potencia isotrópica necesaria en el sistema de recepción como la potencia media disponible en los terminales de una antena de

ganancia 0 dBi. Si la ganancia real de la antena de recepción es  $G_r$  (dBi), la potencia isotrópica necesaria es:

$$P_{iso}(dBm) = S(dBm) + D_n(dB) + M_i(dB) + M(L)(dB)$$

**Ecuación 51**

Haciendo uso de la relación entre campo eléctrico y la potencia isotrópica:

$$E (dBu) = P_{iso}(dBm) + 20 \log f (MHz) + 77,2$$

**Ecuación 52**

Se obtiene el valor del campo mediano.

**4.4.24.5. Potencia Isotrópica radiada equivalente**

Por definición, la potencia isotrópica radiada equivalente, PIRE, es igual a la suma de la potencia entregada a la antena de transmisión  $P_{ant}$  (dBm) más la ganancia isotrópica de dicha antena  $G_t$  (dBi).  $P_{ant}$  Depende de la potencia suministrada por el transmisor  $P_t$  (dBm), las pérdidas en el combinador de transmisores y las pérdidas en el cable de conexión de la antena y sus conectores, por consiguiente:

$$PIRE (dBm) = P_t(dBm) - L_{comb}(dB) - \alpha_f \cdot l_f(dB) + G_t(dBi)$$

**Ecuación 53**

Donde  $L_{comb}$  es la pérdida en el combinador,  $\alpha_f$  la atenuación unitaria (dB/m) en el cable de conexión y  $l_f$  su longitud (m).

**4.4.24.6. Ecuación de balance y pérdida compensable**

La ecuación de balance permite obtener la potencia isotrópica a partir de la PIRE y la pérdida básica de propagación, como se podrá apreciar:

$$P_{iso}(dBm) = PIRE(dBm) - L_b(dB)$$

#### **Ecuación 54**

En el cálculo de un enlace, se determina la potencia isotrópica como se ha visto anteriormente.

Si la distancia de cobertura es conocida, se evalúa  $L_b$  y la ecuación de balance proporciona la PIRE necesaria. De esta, mediante la ecuación 33 puede calcularse la potencia del transmisor.

Si es parte de una PIRE conocida la ecuación 34 permite calcular la pérdida básica que en este caso suele llamarse pérdida compensable pues representa el valor máximo admisible de la pérdida básica de propagación. A partir de este valor puede calcularse distancia de cobertura.

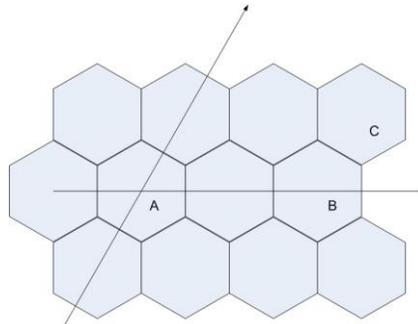
#### **4.4.25. Planificación de frecuencias**

En el diseño de una celda en GSM hay que considerar principalmente:

- Propagación de radio
- Tráfico
- Balance de la celda (balance de potencia)
- Planificación de frecuencias

Considerando el siguiente esquema:

**FIGURA N° 30:**  
**DESPLAZAMIENTO SEGUN LOS EJES MARCADOS, DESDE EL ORIGEN**



FUENTE: [es.slideshare.net/fernandomendioroz/telefona-mvil-celular-0-a-4g-lteadvanced](http://es.slideshare.net/fernandomendioroz/telefona-mvil-celular-0-a-4g-lteadvanced)

Las celdas A y C tiene la misma frecuencia. La distancia entre los centros de dos celdas consecutivas es:

$$d = R \cdot \sqrt{3}$$

**Ecuación 55**

La distancia D entre dos celdas con la misma frecuencia se obtiene según la ecuación (D: distancia de reutilización):

$$D^2 = (i^2 + j^2 + i \cdot j) \cdot d^2$$

**Ecuación 56**

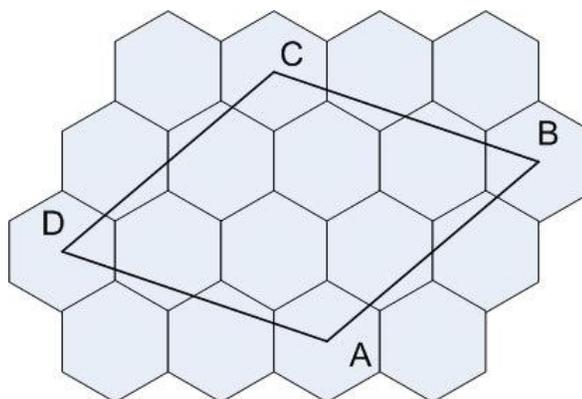
Por lo tanto obtenemos el siguiente valor:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{(i^2 + j^2 + i \cdot j) \cdot 3}$$

**Ecuación 57**

Únicamente se consideran distancias normalizadas, es decir, valores enteros de i, j.

**FIGURA Nº 31**  
**ROMBO CO-CANAL**



FUENTE: [www.monografias.com/trabajos102/las-redes-inalambricas/las-redes-inalambricas.shtml](http://www.monografias.com/trabajos102/las-redes-inalambricas/las-redes-inalambricas.shtml)

En la figura 28 las estaciones A, B, C y D están separadas por la distancia D, y forman el llamado Rombo co-canal. Las estaciones en su interior tienen que usar otra frecuencia f.

El área de agrupación es igual al del rombo:

$$S_a = \frac{D^2 \cdot \sqrt{3}}{2}$$

**Ecuación 58**

El área de la celda es:

$$S_c = \frac{3 \cdot D^2 \cdot \sqrt{3}}{2}$$

**Ecuación 59**

Si el área de agrupación es  $S_a = J \cdot S_c$  (J es el tamaño de agrupación):

$$J = \frac{1}{3} \left( \frac{D}{R} \right)^2 \rightarrow J = i^2 + j^2 + i \cdot j$$

**Ecuación 60**

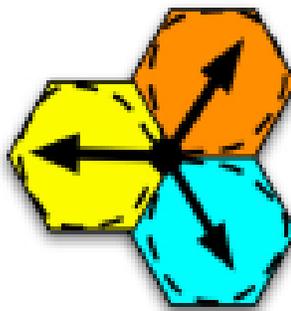
A la relación calculada en la transparencia anterior se denomina relación geométrica. Solo son posibles los tamaños de agrupación dados por expresión.

En sistemas analógicos se utilizan valores de  $i, j$  (2, 2) y (2, 1) que conducen a agrupaciones de  $J=12$  celdas y  $J=7$  celdas.

En GSM se utiliza habitualmente (2, 0),  $J=4$  ó (1, 1) con lo que  $j=3$ .

Si se consideran estaciones sectorizadas, el número de celdas se multiplica por  $S$  sectores, y se utiliza la notación  $J/S \cdot J$ . En el caso de  $S=3$  muy típico en GSM, se considera  $4/12$  y  $3/9$ .

**FIGURA Nº 32:**  
**LAS ANTENAS SECTORIZADAS PERMITEN INCREMENTAR LA CAPACIDAD  
FRENTE A LAS OMNIDIRECCIONALES**



FUENTE: [es.slideshare.net/jaimeabc1/1-tendencias-en-las-comunicacionesv2](http://es.slideshare.net/jaimeabc1/1-tendencias-en-las-comunicacionesv2)

#### **4.5. MODELO DE TRÁFICO**

Se presentara un modelo de tráfico simplificada, pero bastante general para tratar el problema de dimensionamiento de los recursos de radio. El modelo tiene las siguientes características:

- 1) Esta referido únicamente al tráfico telefónico (voz), por ser el preponderante en la red GSM.
- 2) Se consideran dos situaciones de llamadas: las que se inician y concluyen en una misma celda y las que experimentan traspasos.
- 3) Se evalúan separadamente los tráficos de llamadas y señalización.
- 4) Para los cálculos de las probabilidades de tráfico o congestión se utiliza la hipótesis de llamadas perdidas y, por lo tanto, se aplica la distribución Erlang B.

#### 4.5.1. Cálculos de tráfico y radio celular

El análisis de tráfico se refiere al medio urbano, ya que en las ciudades es donde más alta es la densidad, por lo que esta situación será condicionante para el dimensionamiento.

Se ha encontrado que la densidad de tráfico no es constante, sino que toma su valor máximo en el centro de las ciudades y decrece hacia la periferia. Para describir esa variación, se ha propuesto una ley exponencial de la forma:

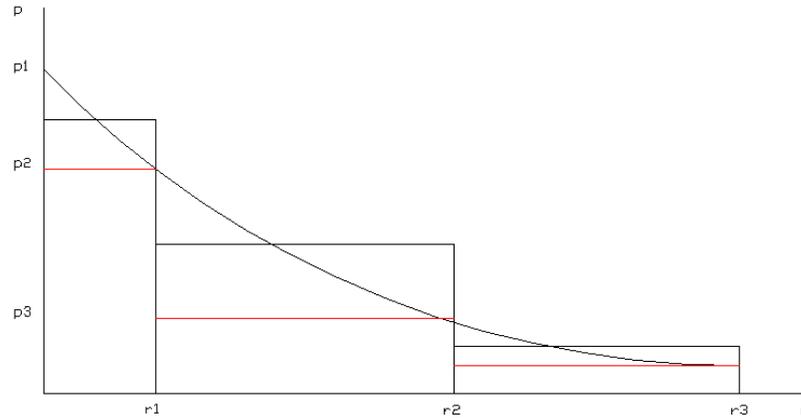
$$p(r) = p(0) * e^{(-r/r_0)}$$

#### Ecuación 61

Donde  $p(0)$  es la densidad de tráfico en el centro de la ciudad,  $p(r)$  la densidad a la distancia  $r$  del centro y  $r_0$  una distancia de referencia.

Esta función de densidad de tráfico tiene 3 tramos que se asociaran a tres radios celulares. El primer tramo de 0 a  $r_1$ , con el valor  $p_1$ , corresponde al núcleo urbano, el segundo de  $r_1$  a  $r_2$ , con el valor  $p_2$ , se aplica al extrarradio urbano y área metropolitana y el tercero, entre  $r_2$  y  $r_3$ , con valor  $p_3$ , se asocia a un entorno rural.

**FIGURA N° 33:  
EJEMPLO DE UNA CIUDAD PARA TRES AREAS**



FUENTE: Elaboración propia

Los valores  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  son los valores medios de la función exponencial en cada zona:

$$p_1 = p(0) \frac{r_0}{r_1} [1 - e^{(-r_1/r_0)}]$$

**Ecuación 62**

Y

$$p_n = \frac{p(0)r_0}{(r_n - r_{n-1})} [e^{(-r_{n-1}/r_0)} - e^{(-r_n/r_0)}]$$

**Ecuación 63**

Para el dimensionamiento supuesta conocida la densidad de tráfico hay dos posibilidades:

- 1) Calculo del radio celular, conociendo el número de canales de tráfico C asignados a la celda o sector.

En primer lugar se obtiene la intensidad de tráfico para C canales con la probabilidad de bloqueo  $\rho_b$ , mediante la inversión de la formula Erlang-B o por consulta en tablas:

$$A = B^{-1}(p_b, C)$$

**Ecuación 64**

La superficie S del sector o celda en la que ofrece el tráfico A es:

$$S = \frac{A}{\rho} = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2k}$$

**Ecuación 65**

Siendo  $\rho$  la densidad de tráfico y  $k$  el número de sectores por celda (para celda omnidireccional,  $k = 1$ ). Despejando R se obtiene.

$$R = \sqrt{\frac{2 \cdot kA}{3\sqrt{3}\rho}}$$

**Ecuación 66**

2) Cálculo del número de canales para un radio de celular dado.

A partir del radio celular y de la densidad de tráfico, se obtiene la intensidad de tráfico A:

$$A = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2k} \rho$$

**Ecuación 67**

Seguidamente la función Erlang B inversa o la consulta en tablas proporcionan el valor de C:

$$C = B^{-1}(A, \rho_b)$$

**Ecuación 68**

#### 4.5.2. Tráfico telefónico particular

El modelo de intensidad de tráfico de usuario que se suele utilizar es el escalonado, suponiendo una zona amplia de planificación constituida por un núcleo urbano, una zona suburbana y otra rural, con densidades respectivas  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  ( $E/km^2$ ). El modelo de incluir parámetros de calidad de servicio tales como probabilidad de bloqueo y porcentajes de llamadas conectadas con éxito a la red, todo ello referido a los canales de tráfico y señalización. Consideramos en primer lugar el tráfico ofrecido sin traspasos:

Las variables de tráfico que es necesario utilizar, referidas a la hora cargada son:

##### 1. Tasas de generación de llamadas:

- Originadas en el móvil, MO (Mobile Originated):  $\lambda_{MO}$
- Terminadas en el móvil, MT (Mobile Terminated):  $\lambda_{MT}$

##### 2. Duración de llamadas

Se entiende por duración de una llamada el tiempo total de ocupación del canal de tráfico, TCH. Este tipo puede ser igual o distinto que el tiempo de conversación, según el modo de utilizar TCH. Hay dos posibilidades de asignación del TCH:

- Asignación temprana, EA (Early assignment).
- Asignación tardía, OACSU (Off Air Call Set up).

En la EA, la asignación del TCH se realiza tan pronto como está constituido el circuito de ruta final por la red, hasta el BTS que sirve la llamada. En este caso, toda la llamada (incluido el aviso al abonado (timbre) y, en su caso, la señal de ocupado), se realiza por el TCH. Con OACSU, solamente se asigna un TCH cuando el abonado llamado descuelga, por lo que el tiempo de ocupación del canal es menor.

En el presente análisis consideramos únicamente el caso de asignación temprana. Las duraciones medidas  $\tau_{MO}$  y  $\tau_{MT}$  para las llamadas MO y MT se calculan como sigue:

a) Para las MO:

$$\tau_{MO} = \rho_{NA} \cdot t_{RNA} + \rho_{CSB} \cdot t_B [1 - (\rho_{NA} + \rho_{CSB})] \cdot (t_{RA} + t_C)$$

**Ecuación 69**

Dónde:

$\rho_{NA}$ (No answer) = Probabilidad de que el abonado llamado no conteste

$t_{RNA}$ (Ringing – no answer) = tiempo en que está sonando el timbre del abonado llamado

$\rho_{CSB}$ (Called subscriber busy) = probabilidad de que el abonado llamado este ocupado

$t_B$ (busy) = tiempo en que el llamante retiene el canal antes de colgar, cuando el abonado llamado está ocupado

$t_{RA}$ (Ringing - answer) = tiempo en que está sonando el timbre del abonado llamado hasta que este descuelgue

$t_C$ (Conversation) = tiempo de conversación

b) Para las MT:

En este caso hay que tener en cuenta que si el abonado llamado (móvil) está ocupado, la llamada entrante queda detenida en el MSC y no se toma un TCH ( $\rho_{CSB} = 0$ ). Se tiene, entonces:

$$\tau_{MT} = \rho_{NA} \cdot t_{RNA} + (1 - \rho_{NA}) \cdot (t_{RA} + t_C)$$

**Ecuación 70**

Donde las probabilidades son condicionales al estado del abonado libre. A partir de estos parámetros se obtiene la intensidad media del tráfico ofrecido por un usuario móvil en la hora cargada, BH (Busy Hour):

$$a = \frac{\lambda_{MO} \cdot \tau_{MO} + \lambda_{MT} \cdot \tau_{MT}}{3600} (E)$$

#### **Ecuación 71**

Este valor comprende todas las tentativas de llamadas tengan o no éxito, según se han definido las tasas  $\lambda$ .

### **4.5.3. Tráfico de señalización**

#### **4.5.3.1. Tasas de señalización común**

El modelo de tráfico de señalización se utiliza para el dimensionamiento de los canales de control. Distinguiremos dos tipos de señalización a estos efectos:

- 1) Señalización necesaria para el establecimiento y liberación de las llamadas, que hace uso de los canales lógicos RACH, AGCH y ADCCCH.
- 2) Señalización asociada a las funciones de movilidad que utiliza, además, el canal PCH no se incluye la señalización necesaria para el traspaso (por el canal FACCH) ya que esta se realiza a través del canal de tráfico.

Dentro del grupo primero, se consideran las siguientes tasas de mensajes de señalización por móvil y hora cargada para las operaciones indicadas:

- a) Conexión/desconexión (IMSI/Attach/Detach):  $\lambda_{AD}$
- b) Llamadas originadas en la MS:  $\lambda_{MO}$
- c) Llamadas terminadas en la MS:  $\lambda_{MT}$

En el grupo segundo tenemos en cuenta la toma de las tasas de actualización de posición y aviso a móviles:

d) Actualizaciones:  $\lambda_{LU}$

e) Aviso:  $\lambda_{PG}$

Las actividades a) a d) inclusive, requieren la toma de un canal RACH, luego la tasa primaria de acceso a este canal por hora cargada será:

$$\lambda_{RACH} = \lambda_{AD} + \lambda_{MO} + \lambda_{MT} + \lambda_{LU}$$

**Ecuación 72**

Las tasas a) a c) serán estimadas por el operador. Para la determinación de  $\lambda_{LU}$  y  $\lambda_{PG}$  hacemos uso del modelo de movilidad.

Como es sabido, para el aviso de móviles, los operadores establecen áreas de localización (LA) constituidas por un número determinado  $N_{LA}$  de celdas, que es función del tráfico. De estas celdas, unas son totalmente interiores al área de localización y otras tienen frontera con otras áreas. Designaremos con  $P(N_{LA})$  la parte proporcional del perímetro de la celda que coincide con el perímetro del área de localización.

Empleando el modelo de movilidad se obtiene la tasa de actualizaciones de posición (LU):

$$\lambda_{LU} = \frac{k \cdot N_C \cdot P(N_{LA})}{M_\pi} = \frac{v \cdot P(N_{LA})}{R}$$

**Ecuación 73**

Siendo  $k = 0,5$  y:

$$P(N_{LA}) = 1 - \frac{N_{LA} - 1}{2N_{LA}}$$

**Ecuación 74**

Si  $N_{LA} \gg 1$  como suele ser habitual,  $P(N_{LA}) = 0,5$ .

En este modelo simplificado no se tendrá en cuenta la actualización periódica.

Los mensajes de aviso se difunden por todas las celdas del área de localización para las llamadas terminadas en los móviles. En cada celda habrá mensajes para un móvil determinado registrado en ella y para otros que en ese momento estén acampados en otras celdas de esa área. Por lo tanto, la tasa de mensajes de aviso es:

$$\lambda_{PG} = \lambda_{MT} \left( NPR(N_{LA} - 1) + \frac{(NM - 1)P_{NRC}}{1 + P_{RNC} + P_{NA}} + 1 \right)$$

**Ecuación 75**

Dónde:

$\lambda_{MT}$ : Tasa de llamadas dirigidas a los móviles.

$NPR$ : Número de avisos a los móviles en cualquier celda de la LA distinta de donde están acampados.

$NM$ : Número máximo de avisos por móvil en la celda visitada.

$P_{NRC}$ : Probabilidad de que no haya enlace de radio.

$P_{NA}$ : Probabilidad de que el móvil llamado no responda.

## 4.6. MODELO DE MOVILIDAD

El tratamiento de movilidad debe incluir las funciones propias asociadas a esta función ya conocidas: conexión/desconexión (IMSI *attach/detach*), actualización de posición y avisos de (“*paging*”) que repercuten en el dimensionamiento de los canales de control y en los trasposos de llamadas los cuales inciden en el dimensionamiento de los canales de tráfico.

Se presenta un modelo muy simplificado que puede aplicarse para análisis elementales del traspaso y de señalización en un medio urbano. El modelo se funda en las siguientes hipótesis:

- 1) El número medio de móviles por celda en la hora cargada es M
- 2) La densidad de móviles  $\rho_M$  es constante dentro de la celda.
- 3) La forma geométrica de la celda es un círculo de radio R
- 4) Los móviles se desplazan dentro de la celda con una velocidad media constante  $v$ , la dirección de desplazamiento es una variable aleatoria con distribución uniforme. En la celda hay unos porcentajes  $\rho_p$  y  $\rho_v$  de usuarios peatonales y en vehículo, con velocidades  $v_p$  y  $v_v$ , respectivamente. La velocidad media que se utilizara en el modelo será:

$$v = \frac{(\rho_p \cdot v_p + \rho_v \cdot v_v)}{100}$$

**Ecuación 76**

- 5) Se definen los siguientes tiempos:
  - Tiempo de residencia en una celda de un usuario ocupado con una llamada:  $\tau_r$
  - Tiempo de ocupación de un canal en una celda:  $\tau_c$
  - Duración de una llamada:  $\tau$

Entre estos tiempos existe la siguiente relación:

$$\tau_c = \min(\tau_i \tau_r)$$

**Ecuación 77**

Estos tiempos son variables aleatorias independientes con distribuciones estadísticas de tipo exponencial negativo, de valores medios:  $\bar{\tau} = 1 / \mu$ ;  $\bar{\tau}_c = 1 / \mu_c$ .

- 6) Existe un equilibrio de flujos de llamadas, de forma que, por término medio, el número de canales de la celda tomados por las llamadas entrantes por traspaso es igual al número de canales liberados por llamadas que salen de la celda traspasadas hacia otras celdas.

A partir de estos supuestos, puede calcularse el número medio de móviles que cruza el contorno de una celda en la hora cargada mediante la expresión:

$$N_c = 2 \cdot \rho_M \cdot v \cdot R$$

**Ecuación 78**

De donde se desprende que la tasa de cruces por los móviles activos es:

$$\eta = k \cdot \frac{N_c}{M} = 2k \cdot \frac{v}{\pi R}$$

**Ecuación 79**

Siendo k la fracción de móviles activos en el momento del cruce del borde de la celda. El valor medio del tiempo es  $\tau_r$ , es la inversa de la tasa  $\eta$ :

$$\bar{\tau}_r = \frac{1}{\eta}$$

**Ecuación 80**

De la ecuación 66 y de las propiedades de la distribución exponencial negativa, resulta:

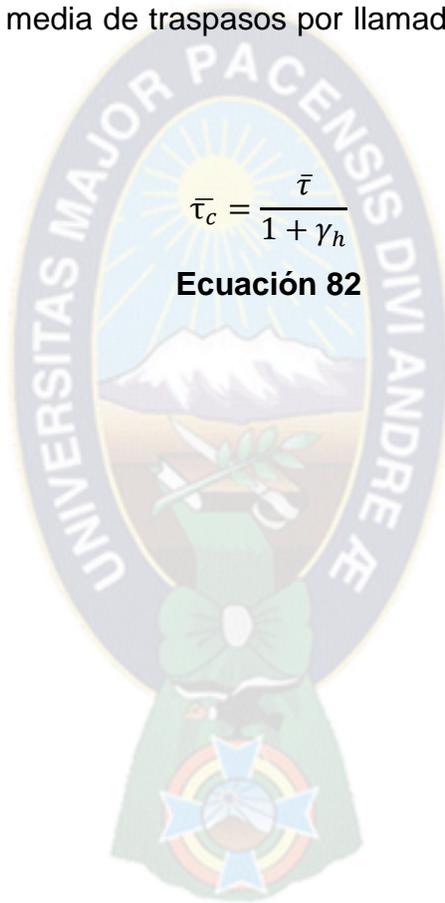
$$\bar{\tau}_c = \frac{1}{\mu + \eta}$$

**Ecuación 81**

Si llamamos  $\gamma_h$  a la tasa media de trasposos por llamada realizados con éxito, se tiene  $\gamma_h = \bar{\tau} / \bar{\tau}_{r_1}$  luego:

$$\bar{\tau}_c = \frac{\bar{\tau}}{1 + \gamma_h}$$

**Ecuación 82**



## CAPÍTULO V ANÁLISIS DE MERCADO

### 5. INTRODUCCION

Tomando en cuenta aspectos demográficos de la localidad de San Buenaventura, éste se considera como un mercado potencial, apto para complementar un sistema de telecomunicaciones.

Los posibles usuarios con capacidad de adquirir y mantener el servicio serían aquellos que son parte de la Población Económicamente Activa (PEA), involucrados en las diversas actividades económicas que se desarrollan en la región a través de la explotación de la tierra por medio de cultivos, pastoreo de ganado, nuevas urbanizaciones, conservación de suelos, explotación racional de bosques naturales, bosques implantados, minería, etc. teniéndose de esta manera la oportunidad de poder determinar cuál es la producción de este departamento y como se desarrolla su economía.

**TABLA Nº 6:  
POBLACION TOTAL**

<b>POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN GRUPOS DE EDAD</b>			
<b>Grupos de edad</b>	<b>Total</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
Total	10647	5615	5032
0-3 años	666	333	333
4-5 años	358	187	171
6-19 años	3062	1750	1312
20-39 años	2516	1314	1202
40-59 años	2301	1164	1137
60-más años	1744	867	877

FUENTE: INE (Instituto Nacional de Estadística) Censo del 2012

**TABLA Nº 7:**  
**POBLACION SEGUN RESIDENCIA HABITUAL**

<b>POBLACIÓN EMPADRONADA, POR SEXO, SEGÚN EL LUGAR DE RESIDENCIA HABITUAL</b>			
<b>Lugar de residencia habitual</b>	<b>Total</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
Total	10647	5615	5032
Viven en San Buenaventura	10239	5336	4903
En otro lugar del país	398	273	125
En el exterior	10	6	4

FUENTE: INE (Instituto Nacional de Estadística) Censo 2012

**TABLA Nº 8:**  
**PEA (POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA)**

<b>POBLACION EMPADRONADA DE 10 AÑOS O MAS EDAD SEGÚN ACTIVIDAD ECONOMICA Y CATEGORIA OCUPACIONAL</b>			
<b>Actividad Económica</b>	<b>Total</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
Total	5981	3309	2672
Agricultura, ganadería, caza, pesca y psicultura	3230	1603	1627
Minería e Hidrocarburos	404	298	106
Industria Manufacturera	457	235	222
Electricidad, gas, agua y desechos	8	4	4
Construcción	255	234	21
Comercio, transporte y almacenes	727	412	315
Otros servicios	484	265	219
Sin especificar	247	155	92
Descripciones incompletas	169	103	66

FUENTE: INE (Instituto Nacional de Estadística) Censo 2012

Para poder calcular el porcentaje de penetración o *market share* por la empresa TIGO tomaremos como punto de partida el porcentaje de la población de Rurrenabaque

(Área Urbana) la cual ya posee el servicio GSM por la empresa, donde la población económicamente activa es de 6311 habitantes, los cuales ascienden a 1487 usuarios. Usando la siguiente formula tendremos:

$$\% \text{ de población con servicio} = \frac{1487 * 100}{6311} = 23,56\%$$

### **Ecuación 95**

Por lo tanto, se tiene que TIGO ofrece el servicio a un 23,56% de la población de Rurrenabaque actualmente. Teniendo en cuenta que la empresa inicialmente comenzó con 438 usuarios en Rurrenabaque, volviendo a aplicar la ecuación 65 tendríamos:

$$\% \text{ de población con servicio} = \frac{438 * 100}{6311} = 6.94\%$$

Aplicando un criterio de comparación entre Rurrenabaque y San Buenaventura se podría decir que la cantidad de usuarios a la cual se pretende llegar en la localidad de San Buenaventura es de 6,94%, este porcentaje inicial como una nueva empresa entrante en la localidad de San Buenaventura.

Realizando una proyección de 5 años, como dato inicial desde el último censo realizado el año 2012 tenemos como datos:

$P_o = 5981$  habitantes según el censo 2012

$n =$  Año de proyección

$i = 0.0132$  Tasa de crecimiento del área rural según el INE

Se proyectaran los datos hasta el año 2021 para la localidad de San Buenaventura con la siguiente fórmula:

$$P_x = P_o * (1 + i)^n$$

### **Ecuación 96**

**TABLA N° 9:  
PROYECCION A 5 AÑOS DE USUARIOS POTENCIALES**

<b>Año</b>	<b>Porcentaje %</b>	<b>Crecimiento del PEA</b>
2016	6,94	6386
2017	7,12	6470
2018	7,22	6556
2019	7,31	6642
2020	7,41	6730
2021	7,51	6819

FUENTE: Elaboración Propia

Por lo tanto, se trabajara con el porcentaje de 7.51% con 6819 habitantes del PEA.

**TABLA N° 10  
USUARIOS POTENCIALES EN LA LOCALIDAD DE SAN BUENAVENTURA**

<b>Localidad</b>	<b>PEA</b>	<b>Usuarios potenciales</b>
San Buenaventura	6819	512

FUENTE: Elaboración Propia

Finalmente tendremos 512 usuarios potenciales en la localidad de San Buenaventura.

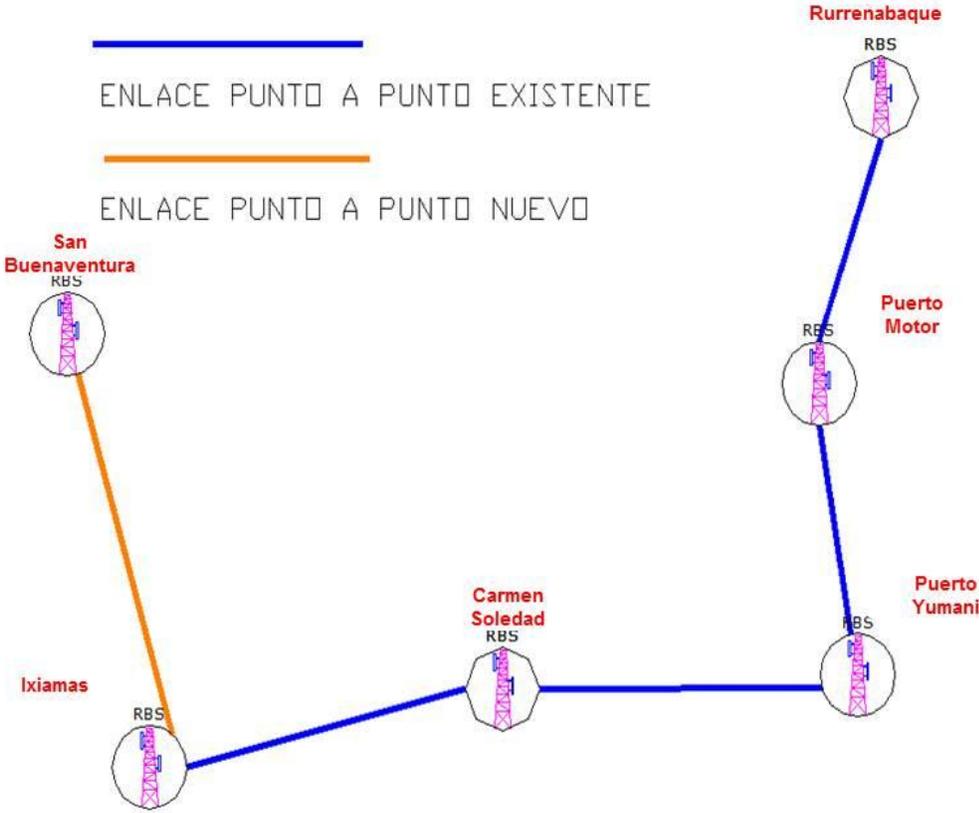
### **5.1. ANALISIS PRELIMINAR**

Se plantea en primera instancia, realizar un radio enlace punto a punto que permita llegar hasta la localidad de San Buenaventura, para esto se debe estudiar las diferentes rutas que permitan una línea de vista entre estaciones base, de ser necesario optar por la opción de usar repetidoras que nos faciliten la ruta. Posteriormente se realizara el

radio enlace punto a multipunto, para el cual es necesario usar un modelo de propagación que se adecue a las características de la empresa y localidad.

En la siguiente figura apreciamos la ruta ideal para nuestro radio enlace:

**FIGURA N° 34:**  
**ENLACE PUNTO A PUNTO SEGUN TIGO CON IMPLEMENTACION DEL NUEVO**



FUENTE: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta los enlaces existentes de la empresa TIGO, se tomó la decisión de realizar nuestro radio enlace con la estación base de la localidad de Ixiamas por el motivo de distancia tal como muestra la FIGURA 39.

En este radio enlace no tenemos una línea de vista directa por el terreno que se nos presenta de este modo se hará el uso de una repetidora enlaces punto a punto, una vez llegando a la localidad de destino se realiza el enlace punto a multipunto.

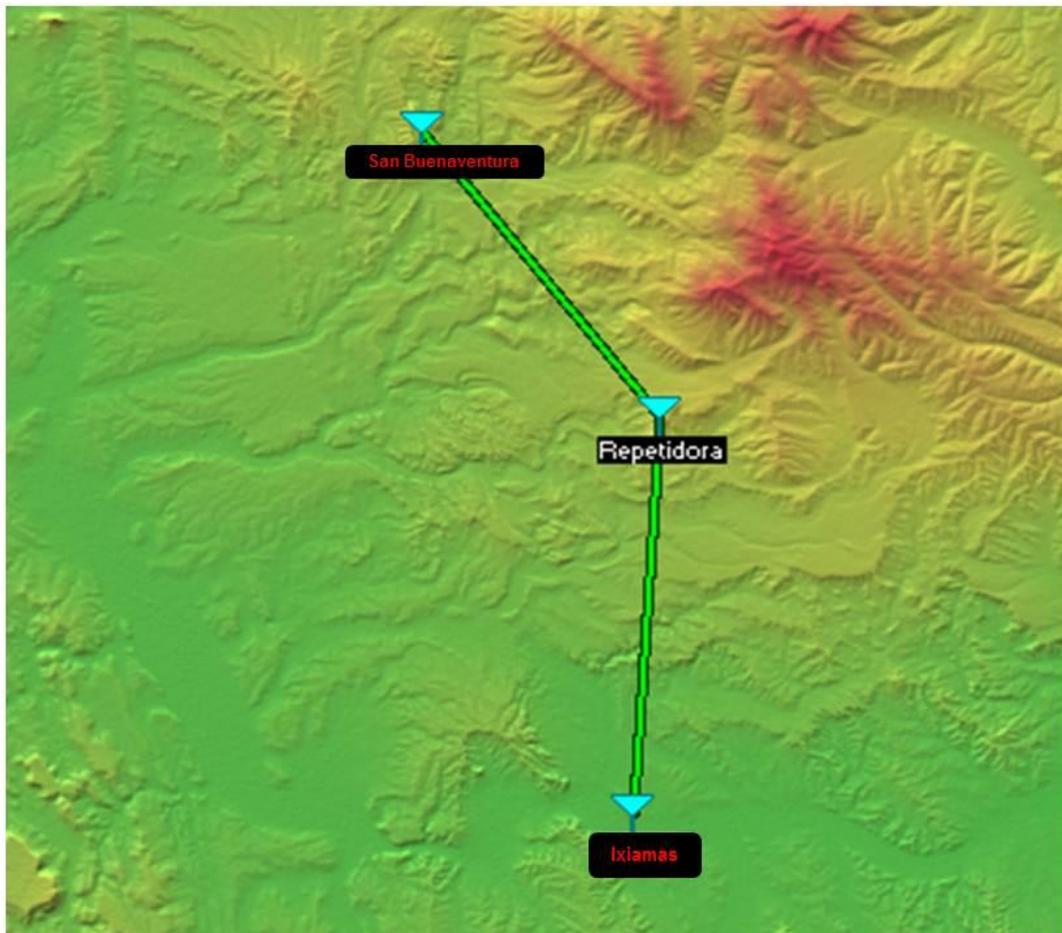
**FIGURA Nº 35**  
**ENLACE FINAL IXIAMAS – REPETIDORA – SAN BUENAVENTURA**



FUENTE: Elaboración Propia

Con la ayuda del programa radio mobile se tendría el radio enlace de la siguiente forma:

**FIGURA N° 36**  
**ENLACE SEGUN RADIO MOBILE**



FUENTE: Elaboración Propia

## 5.2. DISEÑO DE LAS ESTACIONES BASE

El diseño de la estación se basa en garantizar la cobertura en el poblado y ofrecer la comunicación simultanea sin bloqueo a los abonados que habitan en este caso trabajaremos con el 11,74% de los habitantes del PEA con un total de 783,41 usuarios potenciales.

### 5.3. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE DEMANDA

La telefónica TIGO, estadísticamente tiene registro de otros mercados similares del uso y/o demanda de telefonía móvil celular, cuya medición en ingeniería se conoce como tráfico por usuario y cuyo valor es de 20miliErlang.

Con estos datos se ha estimado el tráfico esperado (Erlangs) en la localidad de San Buenaventura y resulta de multiplicar los miliErlangs por usuario por el número de usuarios esperados.

**TABLA 11: TRAFICO ESPERADO**

<b>Localidad</b>	<b>Usuarios potenciales</b>	<b>Tráfico esperado (Erlangs)</b>
San Buenaventura	512	10.24

FUENTE: Elaboración Propia

### 5.4. CÁLCULO DEL NÚMERO Y CAPACIDAD DE ESTACIONES BASE

El número de radio bases necesarias depende del tráfico esperado (Erlangs), del número de canales requeridos a continuación se muestra la tabla de Erlang B:

**TABLA Nº 12:**  
**TABLA DE ERLANG B**

Erlang B Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N

N/B	B is in %											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0888	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.192	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.315	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.812	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.653	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78
25	10.88	12.26	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83	25.30	27.72	32.97	39.44
26	11.54	12.97	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89	26.43	28.94	34.39	41.10
27	12.21	13.69	14.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94	27.57	30.16	35.80	42.76
28	12.88	14.41	15.18	17.41	18.64	20.15	22.87	26.00	28.71	31.39	37.21	44.41
29	13.56	15.13	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05	29.85	32.61	38.63	46.07
30	14.25	15.86	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11	31.00	33.84	40.05	47.74
31	14.94	16.60	17.44	19.85	21.19	22.83	25.77	29.17	32.14	35.07	41.46	49.40
32	15.63	17.34	18.21	20.68	22.05	23.73	26.75	30.24	33.28	36.30	42.88	51.06
33	16.34	18.09	18.97	21.51	22.91	24.63	27.72	31.30	34.43	37.52	44.30	52.72
34	17.04	18.84	19.74	22.34	23.77	25.53	28.70	32.37	35.58	38.75	45.72	54.38
35	17.75	19.59	20.52	23.17	24.64	26.44	29.68	33.43	36.72	39.99	47.14	56.04
36	18.47	20.35	21.30	24.01	25.51	27.34	30.66	34.50	37.87	41.22	48.56	57.70
37	19.19	21.11	22.08	24.85	26.38	28.25	31.64	35.57	39.02	42.45	49.98	59.37
38	19.91	21.87	22.86	25.69	27.25	29.17	32.62	36.64	40.17	43.68	51.40	61.03
39	20.64	22.64	23.65	26.53	28.13	30.08	33.61	37.72	41.32	44.91	52.82	62.69
40	21.37	23.41	24.44	27.38	29.01	31.00	34.60	38.79	42.48	46.15	54.24	64.35
41	22.11	24.19	25.24	28.23	29.89	31.92	35.58	39.86	43.63	47.38	55.66	66.02
42	22.85	24.97	26.04	29.09	30.77	32.84	36.57	40.94	44.78	48.62	57.08	67.68
43	23.59	25.75	26.84	29.94	31.66	33.76	37.57	42.01	45.94	49.85	58.50	69.34

N is the number of servers. The numerical column headings indicate blocking probability B in %.

FUENTE: [www.pitt.edu/~dtipper/2110/erlang-table.pdf](http://www.pitt.edu/~dtipper/2110/erlang-table.pdf)

Para este estudio se necesitara equipos que se adecuen a nuestras necesidades para brindar un servicio de calidad. La BTS que se usara es la RBS 2106 Ericsson.

Conociendo el número de canales que se requiere para cursar el tráfico esperado, y sabiendo que las radio bases tienen una capacidad definida de canales, entonces el número de radio bases será función del número de sectores y los canales respectivos definidos por el diseño.

La tecnología GSM utiliza una celda independiente para cada sector u objetivo de cobertura. Por tanto, una radio base puede tener 1,2 o 3 celdas o sectores con una capacidad máxima 29 canales de voz por celda, equivalente a 21 Erlang y 1 canal para la portadora o BCCH y 2 para el canal de señalización SDCCH, con esto se completa la capacidad total de la celda que suma 32 canales distribuidos en 4 radios de 8 canales cada uno.

En la siguiente tabla se muestra en base al tráfico esperado la cantidad canales y celdas mínimas requeridas en la localidad.

**TABLA N° 13:**  
**CANTIDAD DE CELDAS**

<b>Tráfico Esperado (Erlangs)</b>	<b>Canales Requeridos</b>
10.66	17

FUENTE: Elaboración Propia

## **5.5. ENLACE PUNTO A PUNTO**

### **5.5.1. Enlace Ixiamas– repetidora**

Ixiamas

Lat: 17.4794 (S)

Long: 68.36088 (O)

REPETIDORA

Lat: 17.30119 (S)

Long: 68.34874 (O)

### CALCULO DE LA DISTANCIA (D)

$$D = \frac{2\pi * R_o}{360} * \Delta$$

$$\Delta = \cos^{-1}(\sin a * \sin b + \cos a * \cos b * \cos c)$$

$$\Delta = 0.178586165$$

Por lo tanto:

$$D = 19.82 \text{ (km)}$$

### AZIMUT ( $\Delta z$ )

La mayor longitud es de la estación (A) que es la de Ixiamas usaremos la siguiente fórmula:

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{\sin b - \sin a * \cos \Delta}{\cos a * \sin \Delta}\right)$$

Teniendo en cuenta que el valor de  $\Delta$  lo hayamos anteriormente obtendremos:

$$\phi = 3.72$$

Por lo tanto:

$$\Delta z_A = 180 - \phi = 180 - 3.72$$

$$\Delta z_A = 176.28$$

$$\Delta z_B = 360 - \phi = 360 - 3.72$$

$$\Delta z_B = 356.28$$

### ANGULO DE ELEVACION ( $A_E$ )

$$A_E = \tan^{-1} \left( \frac{h_1 - h_2}{D} \right)$$

$$A_E = \tan^{-1} \left( \frac{4185 - 3793.7}{19.82 \times 10^3} \right)$$

$$A_E = 1.13102$$

$$A_E = 1^\circ 7' 51.69''$$

### FRECUENCIA DE OPERACIÓN (f)

La frecuencia de operación es la misma con la que trabaja la empresa TIGO S.A. que tiene el valor de 7550 (MHz).

### ALTURA DE TORRES ( $h_n$ )

Para la altura de las torres y según el plano longitudinal es indicado usar un valor que se encuentre entre los 5 (m) a los 30 (m), en nuestro caso se usaran alturas de torre iguales a 20 (m) en la estación de Ixiamas como en la repetidora.

### PERDIDA DE LINEA DE TRANSMISIÓN O GUIA DE ONDA ( $L_f$ )

Para el cálculo de este valor nos basaremos en el cable coaxial Andrew de 1/2" con la atenuación de 8000 (MHz) que es la que se adecua a nuestro proyecto, debido que el valor de atenuación para la frecuencia de 7550 (MHz) no existe, por lo tanto, la atenuación del cable es de 6.87 (dB/100m).

En nuestras estaciones cuyas alturas de torres es de 20 (m), tendremos un total de cable coaxial igual a 30 (m), debido a que se aumenta 10 (m) de guarda o reserva.

Obtendremos una pérdida de:

$$L_f(dB) = \frac{23.8 \text{ dB}}{100 \text{ m}} * 30\text{m} = 7.14$$

Con un total de 14.28 (dB) por las dos estaciones.

### **PERDIDA DE DERIVACION (Lb)**

La pérdida de derivación o también conocida como pérdida en el combinador y filtro es considerada con un valor de 3 (dB) por cada estación. Con un total de 6 (dB).

### **PERDIDA EN CONECTORES (Lc)**

Las pérdidas en conectores se refiere a las pérdidas de conexión que existen entre la salida del transmisor – cable coaxial, cable coaxial – antena; la cual se le asigna un valor de 0.5 (dB) por conexión, es decir, 1 (dB) por estación.

### **PERDIDA POR ESPACIO LIBRE (Pe / L<sub>o</sub>)**

$$L_o = 32.44 + 20 \log(f[\text{Mhz}]) + 20 \log(D[\text{km}])$$

$$L_o = 32.44 + 20 \log(7550) + 20 \log(19.82)$$

$$L_o = 135.94 \text{ (dBm)}$$

### **PERDIDA POR DIFRACCION (Ld)**

La pérdida por difracción es tomada en cuenta cuando la línea de vista de nuestro enlace se ve comprometida por un obstáculo, en este caso no presentamos ninguna dificultad por lo tanto tendremos un valor de 0 (dB).

### **MARGEN DE DESVANECIMIENTO (L<sub>D</sub>)**

$$L_D = 30 \log(D[\text{km}]) + 10 \log(6ABf[\text{GHz}]) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Según el campo del enlace usaremos para el factor  $A = 1$  (terreno normal) y para nuestro factor  $B = 0.125$  (áreas montañosas y secas).

$$L_D = 30 \log(19.82) + 10 \log(6 * 1 * 0.125 * 7.55) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$L_D = 16.44 \text{ (dB)}$$

### PERDIDA DE ATENUACION POR LLUVIAS ( $A_{LL}$ )

En nuestro enlace tenemos una frecuencia de 7.55 (GHz), por lo tanto, se debe aplicar la atenuación por lluvias. Para los coeficientes de regresión usaremos los datos para la frecuencia igual a 8 (GHz) debido que el dato de nuestra frecuencia es intermedia.

$$k = 0.00454 \quad \alpha = 1.327$$

La ecuación que usaremos será la menor a latitud de  $30^\circ$ , observando la FIGURA 30 tendremos como valor de precipitación de 40 (mm/h) para nuestra frecuencia, también se hará uso de la ecuación menor o igual a 100 (mm/h).

Hallamos  $d_o$ :

$$d_o = 35e^{-(0.015 * R_{0.01})}$$

$$d_o = 35e^{-(0.015 * 40)}$$

$$d_o = 19.21$$

Remplazamos datos en la ecuación:

$$A_{LL} = 0.07 * k * R_{0.01}^\alpha * P^{-(0.855 + 0.139 \log P)} * \left( \frac{d_o * d}{d_o + d} \right)$$

$$A_{LL} = 0.07 * 0.00454 * 40^{1.327} * 0.01^{-(0.855 + 0.139 \log 0.01)} * \left( \frac{19.21 * 19.82}{19.21 + 19.82} \right)$$

$$A_{LL} = 5.91 \text{ (dB)}$$

## PERDIDA TOTAL DEL TRAYECTO (LT)

La pérdida total del trayecto es la suma de todas las pérdidas existentes en este caso:

$$LT = L_f + L_b + L_c + L_o$$

$$LT = 14.28 + 6 + 2 + 135.94$$

$$LT = 158.22 \text{ (dB)}$$

## GANANCIA DE ANTENAS (Ga)

La ganancia de las antenas está en función al diámetro de las mismas, en este caso y siguiendo con recomendación y dato de TIGO S.A. tenemos antenas de 1.2 (m) de diámetro en ambas estaciones.

Con la ayuda de la fórmula para ganancia se obtendrá:

$$Ga = 18.2 + 20 \log \theta(m) + 20 \log f(GHz)$$

$$Ga = 18.2 + 20 \log(1.2) + 20 \log(7.55)$$

$$Ga = 37.34 \text{ (dBi)}$$

## GANANCIA TOTAL (GT)

En este caso es la sumatoria de las ganancias de las antenas transmisora y receptora.

$$GT = 37.34 + 37.34 = 74.68 \text{ (dB)}$$

## GANANCIA DEL SISTEMA (Gs)

La ganancia del sistema es la diferencia entre la ganancia total y la pérdida total.

$$Gs = LT - GT$$

$$Gs = 158.22 - 74.68$$

$$Gs = 83.54 \text{ (dB)}$$

## POTENCIA DE TRANSMISIÓN ( $P_t$ )

Para el enlace punto a punto el equipo que está en uso por la empresa TIGO S.A. poseen una potencia de transmisión de 24 (dBm), por lo tanto, se usara los mismos datos del equipo para el proyecto.

## POTENCIA DE RECEPCION EN ESPACIO LIBRE

$$C_o = P_t - LT + GT$$
$$C_o = 24 - 158.22 + 74.68$$
$$C_o = -59.54 \text{ (dB)}$$

## ANCHO DE BANDA DE RUIDO (B)

El ancho de banda de ruido según el equipo es de 7 (MHz).

## POTENCIA DE RUIDO (N)

La potencia de ruido es calculada mediante la fórmula:

$$N = -174 + 10 \log(B[\text{Hz}])$$
$$N = -174 + 10 \log(7 * 10^6)$$
$$N = -105.55 \text{ (dBm)}$$

## RELACION PORTADORA A RUIDO

$$\frac{C}{N} = C_o - N$$
$$\frac{C}{N} = -59.54 + 105.55$$

$$\frac{C}{N} = 46.01 \text{ (dB)}$$

### POTENCIA MÍNIMA DE PORTADORA ( $C_{min}$ )

La potencia mínima de portadora es la diferencia entre la potencia de recepción en espacio libre, perdida por atenuación de lluvias y perdida por desvanecimiento.

$$C_{min} = C_o - A_{LL} - L_D$$

$$C_{min} = -59.54 - 5.91 - 16.44$$

$$C_{min} = -81.89 \text{ (dBm)}$$

### RELACION PORTADORA SENSIBILIDAD A RUIDO

$$\frac{CS}{N} = S - N$$

$$\frac{CS}{N} = -91.5 + 105.55$$

$$\frac{CS}{N} = 14.05 \text{ (dB)}$$

### FIGURA DE RUIDO (NF)

La figura de ruido en este caso tiene el valor de 7 (dB).

### POTENCIA MÍNIMA A RUIDO ( $C_{min}/N$ )

$$\frac{C_{min}}{N} = C_{min} - N - NF$$

$$\frac{C_{min}}{N} = -81.89 - (-105.55) - 7$$

$$\frac{C_{min}}{N} = 16.66 \text{ (dB)}$$

## MARGEN DE UMBRAL (MU)

Según las especificaciones técnicas del equipo, esta tiene una sensibilidad de -91.5 (dBm).

$$\begin{aligned}MU &= C_o - S \\MU &= -59.54 - (-91.5) \\MU &= 31.96 \text{ (dB)}\end{aligned}$$

## PROBABILIDAD DE SERVICIO ( $P_s$ )

Primeramente hallamos la indisponibilidad del sistema:

$$I_E = \frac{MTTR}{MTTR + MTBF} * 100\%$$

Dónde:

$$MTTR = 24 \text{ (horas)}$$

$$MTBF = 250000 \text{ (horas) Para la estación de Ixiamas}$$

$$MTBF = 300000 \text{ (horas) Para la estación Repetidora}$$

Remplazando datos:

$$\begin{aligned}I_E &= \frac{24}{24 + 250000 + 300000} * 100\% \\I_E &= 0.00044\end{aligned}$$

Seguidamente hallamos la indisponibilidad por propagación:

$$I_D = P_o * 10^{-\frac{MU}{10}} * 100\%$$

Dónde:

El margen de umbral es un valor conocido.

Para  $P_o$ :

$$P_o = k * w^{-1.3} * f * D^3$$

Remplazando datos y valores típicos obtendremos:

$$P_o = 2.1 \times 10^{-5} * 26^{-1.3} * 7.55 * 19.82^3$$

$$P_o = 0.01787$$

Por lo tanto:

$$I_D = 0.01787 * 10^{-\frac{31.96}{10}} * 100\%$$

$$I_D = 0.0000000113$$

Ahora hallamos la indisponibilidad de atenuación por lluvias

$$I_{LL} = 10^{11,68 \left( -0,855 + \sqrt{0,731 + 0,172 \log 0,07 * \frac{R_{0,01}}{MU}} \right)}$$

$$I_{LL} = 10^{11,68 \left( -0,855 + \sqrt{0,731 + 0,172 \log 0,07 * \frac{5,91}{31,96}} \right)}$$

$$I_{LL} = 0.0029$$

Por último hallamos la indisponibilidad total que se realiza de la siguiente manera:

$$I_T = I_E + I_D + I_{LL}$$

$$I_T = 0.00044 + 0.0000000113 + 0.0029$$

$$I_T = 0.00334$$

Donde la probabilidad de servicio es:

$$P_S = 100 - I_T$$

$$P_S = 100 - 0.00334$$

$$P_S = 99.99\%$$

Según la recomendación el enlace es factible.

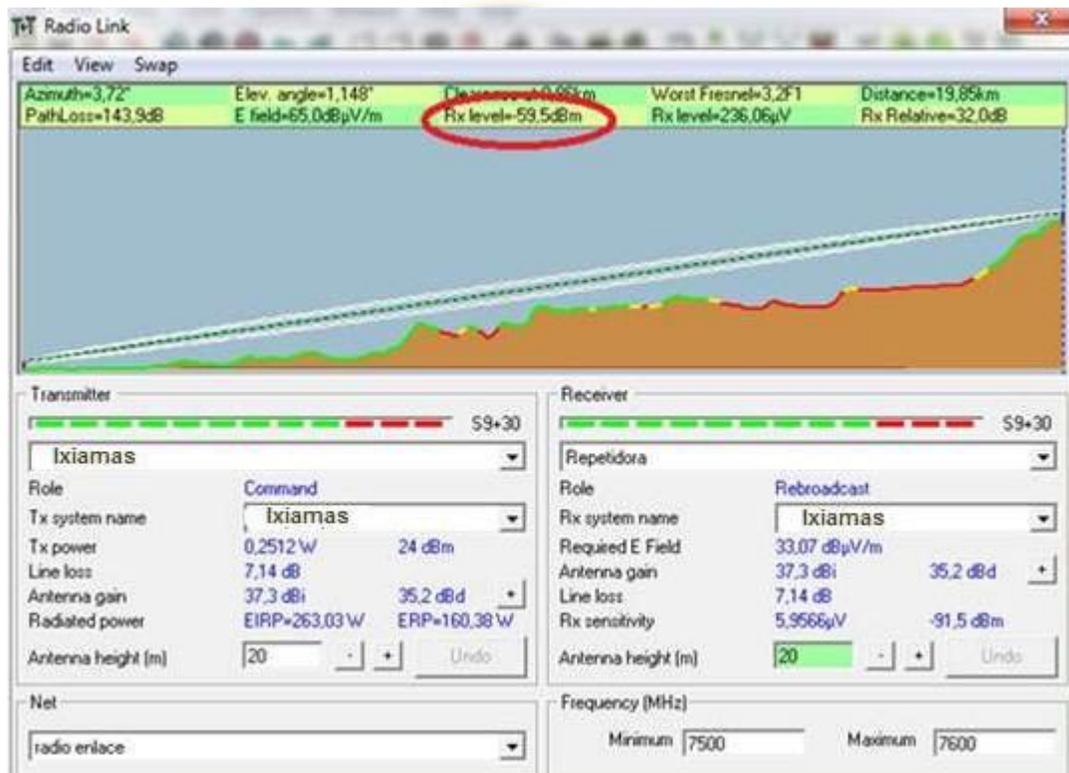
**TABLA N° 14:**  
**CÁLCULO DE RADIOENLACE IXIAMAS – REPETIDORA**

N°	ITEM	UNIDAD	ESTACION A	ESTACION B	TOTAL
1	NOMBRE DE LA ESTACION		Ixiamas	REPETIDORA	
2	ELEVACION DE SITIO	msnm	3793.7	4185	
3	LATITUD	°	17°28'45,84" (S)	17°18'4.28" (S)	
4	LONGITUD	°	68°21'39.17" (O)	68°20'55.46" (O)	
5	AZIMUT	°	176.28	356.28	
6	FRECUENCIA DE OPERACIÓN	Ghz	7550	7550	
7	DISTANCIA DEL SALTO	Km			19.82
8	LONGITUD DE LINEA DE TX	m	30	30	
9	PERDIDA DE LINEA DE Tx POR METRO	dB	23.8	23.8	
10	PERDIDA DE LINEA DE TX	dB	7.14	7.14	14.28
11	PERDIDA DE COMBINADOR	dB	3	3	6
12	PERDIDAS EN CONECTORES	dB	1	1	2
13	PERDIDA EN ESPACIO LIBRE	dB			135.94
14	PERDIDA POR DIFRACCION	dB	No existe		
15	PERDIDA TOTAL DEL TRAYECTO	dB			158.22
16	ALTURA DE ANTENA	m	20	20	
17	GANANCIA DE ANTENA	dB	37.34	37.34	
18	GANANCIA DEL REFLECTOR	dB	No existe		
19	GANANCIA TOTAL	dB			74.68
20	GANANCIA DEL SISTEMA	dB			83.54
21	POTENCIA DE TRANSMISION	dBm			24
22	POTENCIA DE RECEPCION A ESPACIO LIBRE	dBm			-59.54
23	PROBABILIDA DE SERVICIO ESTIMADO	%			0.9999
24	PERDIDA POR DESVANECIMIENTO	dB			16.44
25	ATENUACION PRODUCIDA POR LLUVIAS	dB			5.91
26	POTENCIA MINIMA DE PORTADORA EN EL Rx	dBm			-81.89
27	ANCHO DE BANDA DE RUIDO	MHz			7
28	POTENCIA DE RUIDO	dBm			-105.55
29	FIGURA DE RUIDO	dB			7
30	SENSIBILIDAD O UMBRAL DEL RECEPTOR	dBm			-91.5
31	PORTADORA ESPACIO LIBRE A RUIDO	dB			46.01
32	PORTADORA MINIMA A RUIDO	dB			16.66
33	PORTADORA SENSIBILIDAD A RUIDO	dB			14.05
34	MARGEN DE UMBRAL	dB			31.96
35	PROBABILIDAD TOTAL DE SERVICIO	%			99.99

FUENTE: Elaboración propia

Con la ayuda del programa Radio Mobile se puede apreciar y hacer la respectiva simulación de nuestro enlace que en este caso es de la localidad de Ixiamas hacia la repetidora, en la siguiente figura observaremos nuestro perfil y la relación de la potencia en recepción, realizando la comparación es la misma que en nuestro estudio teórico.

**FIGURA N° 37:  
PERFIL EN RADIO MOBILE ENLACE IXIAMAS - REPETIDORA**



### 5.5.2. Enlace Repetidora – San Buenaventura

REPETIDORA

Lat: 17.30119 (S)

Long: 68.34874 (O)

San Buenaventura Lat: 17.17265 (S)

Long: 68.45219 (O)

Siguiendo el mismo procedimiento del anterior enlace podremos calcular cada dato correspondiente.

### CALCULO DE LA DISTANCIA (D)

$$D = 18.04 \text{ (km)}$$

### AZIMUT ( $\Delta z$ )

En este caso la mayor longitud es de la estación (B) que es la de San Buenaventura usaremos la siguiente fórmula:

$$\phi = \cos^{-1} \left( \frac{\sin a - \sin b * \cos \Delta}{\cos b * \sin \Delta} \right)$$

Teniendo en cuenta que el valor de  $\Delta$  lo hayamos anteriormente obtendremos:

$$\phi = 142.47$$

Por lo tanto:

$$\Delta z_A = 180 - \phi = 180 - 142.27$$

$$\Delta z_A = 37.73$$

$$\Delta z_B = 360 - \phi = 360 - 142.27$$

$$\Delta z_B = 217.73$$

### ANGULO DE ELEVACION ( $A_E$ )

$$A_E = \tan^{-1} \left( \frac{h_1 - h_2}{D} \right)$$

$$A_E = \tan^{-1} \left( \frac{4185 - 3991.1}{18.04 \times 10^3} \right)$$

$$A_E = 0.61581$$

$$A_E = 0^\circ 36' 56.92''$$

## **FRECUENCIA DE OPERACIÓN (f)**

La frecuencia de operación es la misma  $f = 7550$  (MHz).

## **ALTURA DE TORRES ( $h_n$ )**

Las alturas de las torres en cada estación se mantienen de la siguiente forma:

Estación repetidora  $h = 20$  (m)

Estación San Buenaventura  $h = 20$  (m)

## **PERDIDA DE LINEA DE TRANSMISIÓN O GUIA DE ONDA ( $L_f$ )**

Como anteriormente se vio en nuestras estaciones cuyas alturas de torres es de 20 (m), tendremos un total de cable coaxial igual a 30 (m), debido a que se aumenta 10 (m) de guarda o reserva.

Se obtendrá una pérdida de:

$$L_f(dB) = \frac{23.8 \text{ dB}}{100 \text{ m}} * 30\text{m} = 7.14$$

Con un total de 14.28 (dB) por las dos estaciones.

## **PERDIDA DE DERIVACION ( $L_b$ )**

La pérdida de derivación también se mantiene con un valor de 1.5 (dB) por cada estación. Con un total de 3 (dB).

## PERDIDA EN CONECTORES (Lc)

Las pérdidas en conectores se les asigna un valor de 0.5 (dB) por conexión, es decir, 1 (dB) por estación.

## PERDIDA POR ESPACIO LIBRE (Pe / L<sub>o</sub>)

$$L_o = 32.44 + 20 \log(7550) + 20 \log(18.04)$$

$$L_o = 135.12 \text{ (dBm)}$$

## PERDIDA POR DIFRACCION (Ld)

En este enlace si se nos presenta un obstáculo en nuestra línea de vista aplicando la respectiva formula tendremos:

$$r_o = \sqrt{\frac{\lambda * d_1 * d_2}{D}}$$

Si:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{850 \times 10^6} = 0.353$$

Y nuestro obstáculo se encuentra a una distancia de 17.14 (km):

$$r_o = \sqrt{\frac{(0.353) * (17.14 \times 10^3) * (0.9 \times 10^3)}{(18.04 \times 10^3)}}$$

$$r_o = 17.37$$

Ahora realizamos el despeje óptimo:

$$\Delta h(m) = h_1 - \frac{d_1(m)}{D(m)} * (h_1 - h_2) - \frac{d_1(m) * d_2(m)}{2KR_o(m)}$$

$$\Delta h(m) = 4205 - \frac{17.14 \times 10^3}{18.04 \times 10^3} * (4205 - 4011.1) - \frac{(17.14 \times 10^3) * (0.9 \times 10^3)}{2 * (6375 \times 10^3) * (1.33)}$$

$$\Delta h(m) = 17.88$$

$\Delta h(m) > r_o$ ; Existe despeje óptimo

No existe ninguna perdida por difracción.

### MARGEN DE DESVANECIMIENTO ( $L_D$ )

$$L_D = 30 \log(D[km]) + 10 \log(6ABf[GHz]) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Según el campo del enlace usaremos para el factor A = 1 (terreno normal) y para nuestro factor B = 0.125 (áreas montañosas).

$$L_D = 30 \log(18.04) + 10 \log(6 * 1 * 0.125 * 7.55) - 10 \log(1 - 0.999) - 70$$

$$L_D = 15.22 \text{ (dB)}$$

### PERDIDA DE ATENUACION POR LLUVIAS ( $A_{LL}$ )

Basándonos en el anterior enlace usaremos los mismos coeficientes de regresión.

$$k = 0.00454 \quad \alpha = 1.327$$

La ecuación que usaremos será la menor a latitud de 30°, observando la FIGURA tendremos como valor de precipitación de 40 (mm/h) para nuestra frecuencia, también se hará uso de la ecuación menor o igual a 100 (mm/h).

Hallamos  $d_o$ :

$$d_o = 35e^{-(0.015 * R_{0.01})}$$

$$d_o = 35e^{-(0.015 * 40)}$$

$$d_o = 19.21$$

Remplazamos datos en la ecuación:

$$A_{LL} = 0.07 * k * R_{0.01}^{\alpha} * P^{-(0.855+0.139 \log P)} * \left( \frac{d_o * d}{d_o + d} \right)$$
$$A_{LL} = 0.07 * 0.00454 * 40^{1.327} * 0.01^{-(0.855+0.139 \log 0.01)} * \left( \frac{19.21 * 18.04}{19.21 + 18.04} \right)$$
$$A_{LL} = 5.63(dB)$$

### PERDIDA TOTAL DEL TRAYECTO (LT)

La pérdida total del trayecto es la suma de todas las pérdidas existentes en este caso:

$$LT = L_f + L_b + L_c + L_o$$
$$LT = 14.28 + 6 + 2 + 135.12$$
$$LT = 157.4 (dB)$$

### GANANCIA DE ANTENAS (Ga)

La ganancia de las antenas es la misma para cada enlace, por lo tanto, mantenemos el dato:

$$Ga = 37,34 (dBi)$$

### GANANCIA TOTAL (GT)

En este caso es la sumatoria de las ganancias de las antenas transmisora y receptora.

$$GT = 37.34 + 37.34 = 74.68 (dB)$$

### GANANCIA DEL SISTEMA (Gs)

La ganancia del sistema es la diferencia entre la ganancia total y la pérdida total.

$$Gs = LT - GT$$
$$Gs = 157.4 - 74.68$$
$$Gs = 82.72 (dB)$$

## POTENCIA DE TRANSMISIÓN ( $P_t$ )

$$P_t = 24 \text{ (dBm)}$$

## POTENCIA DE RECEPCION EN ESPACIO LIBRE

$$C_o = P_t - LT + GT$$

$$C_o = 24 - 157.4 + 74.68$$

$$C_o = -58.72 \text{ (dB)}$$

## ANCHO DE BANDA DE RUIDO (B)

El ancho de banda de ruido según el equipo es de 7 (MHz).

## POTENCIA DE RUIDO (N)

La potencia de ruido es calculada mediante la fórmula:

$$N = -174 + 10 \log(B[\text{Hz}])$$

$$N = -174 + 10 \log(7 * 10^6)$$

$$N = -105.55 \text{ (dBm)}$$

## RELACION PORTADORA A RUIDO

$$\frac{C}{N} = C_o - N$$

$$\frac{C}{N} = -58.12 + 105.55$$

$$\frac{C}{N} = 46.83 \text{ (dB)}$$

### POTENCIA MÍNIMA DE PORTADORA ( $C_{min}$ )

La potencia mínima de portadora es la diferencia entre la potencia de recepción en espacio libre, perdida por atenuación de lluvias y perdida por desvanecimiento.

$$\begin{aligned}C_{min} &= C_o - A_{LL} - L_D \\C_{min} &= -58.72 - 5.63 - 15.22 \\C_{min} &= -79.57(dBm)\end{aligned}$$

### RELACION PORTADORA SENSIBILIDAD A RUIDO

$$\begin{aligned}\frac{CS}{N} &= S - N \\ \frac{CS}{N} &= -91.5 + 105.55 \\ \frac{CS}{N} &= 14.05 (dB)\end{aligned}$$

### FIGURA DE RUIDO (NF)

La figura de ruido en este caso tiene el valor de 7 (dB).

### POTENCIA MÍNIMA A RUIDO ( $C_{min}/N$ )

$$\begin{aligned}\frac{C_{min}}{N} &= C_{min} - N - NF \\ \frac{C_{min}}{N} &= -79.57 - (-105.55) - 7 \\ \frac{C_{min}}{N} &= 18.98 (dB)\end{aligned}$$

## MARGEN DE UMBRAL (MU)

Según las especificaciones técnicas del equipo, esta tiene una sensibilidad de -91.5 (dBm).

$$\begin{aligned}MU &= C_o - S \\MU &= -58.72 - (-91.5) \\MU &= 32.78 \text{ (dB)}\end{aligned}$$

## PROBABILIDAD DE SERVICIO ( $P_s$ )

Primeramente hallamos la indisponibilidad del sistema:

$$I_E = \frac{MTTR}{MTTR + MTBF} * 100\%$$

Dónde:

$$MTTR = 24 \text{ (horas)}$$

$$MTBF = 250000 \text{ (horas)} \text{ Para la estación de San Buenaventura}$$

$$MTBF = 300000 \text{ (horas)} \text{ Para la estación Repetidora}$$

Remplazando datos:

$$\begin{aligned}I_E &= \frac{24}{24 + 250000 + 300000} * 100\% \\I_E &= 0.00044\end{aligned}$$

Seguidamente hallamos la indisponibilidad por propagación:

$$I_D = P_o * 10^{-\frac{MU}{10}} * 100\%$$

Dónde:

El margen de umbral es un valor conocido.

Para  $P_o$ :

$$P_o = k * w^{-1.3} * f * D^3$$

Remplazando datos y valores típicos obtendremos:

$$P_o = 2.1 \times 10^{-5} * 26^{-1.3} * 7.55 * 18.04^3$$

$$P_o = 0.01347$$

Por lo tanto:

$$I_D = 0.01347 * 10^{-\frac{32.78}{10}} * 100\%$$

$$I_D = 0.000000071$$

Ahora hallamos la indisponibilidad de atenuación por lluvias

$$I_{LL} = 10^{11.68 \left( -0.855 + \sqrt{0.731 + 0.172 \log 0.07 * \frac{R_{0,01}}{MU}} \right)}$$

$$I_{LL} = 10^{11.68 \left( -0.855 + \sqrt{0.731 + 0.172 \log 0.07 * \frac{5.63}{32.78}} \right)}$$

$$I_{LL} = 0.0026$$

Por último, hallamos la indisponibilidad total que se realiza de la siguiente manera:

$$I_T = I_E + I_D + I_{LL}$$

$$I_T = 0.01347 + 0.000000071 + 0.0026$$

$$I_T = 0.01607$$

Donde la probabilidad de servicio es:

$$P_S = 100 - I_T$$

$$P_S = 100 - 0.01607$$

$$P_S = 99.98\%$$

Según la recomendación el enlace es factible.

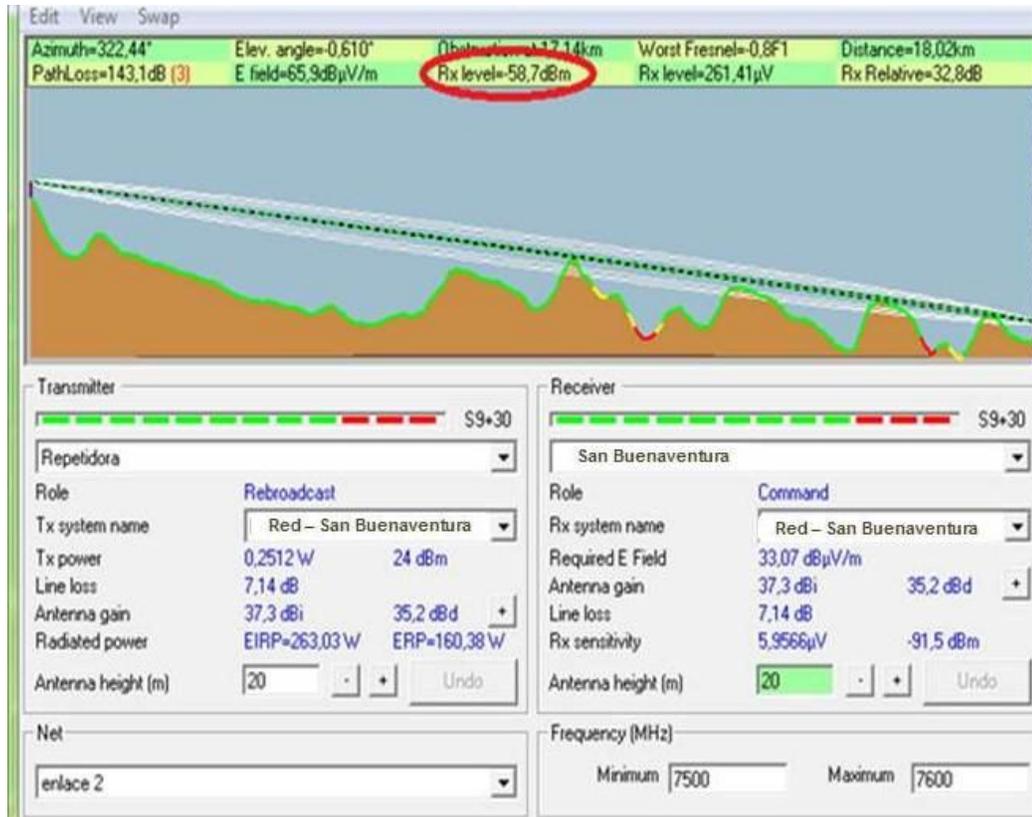
**TABLA Nº 15:**  
**CÁLCULO DE RADIOENLACE REPETIDORA – SAN BUENAVENTURA**

Nº	ITEM	UNIDAD	ESTACION A	ESTACION B	TOTAL
1	NOMBRE DE LA ESTACION		REPETIDORA	San Buenaventura	
2	ELEVACION DE SITIO	msnm	4185	3991.1	
3	LATITUD	°	17°18'4.28" (S)	17°10'21.47" (S)	
4	LONGITUD	°	68°20'55.46" (O)	68°27'7.88" (O)	
5	AZIMUT	°	37.73	217.73	
6	FRECUENCIA DE OPERACIÓN	Ghz	7550	7550	
7	DISTANCIA DEL SALTO	Km			18.04
8	LONGITUD DE LINEA DE TX	m	30	30	
9	PERDIDA DE LINEA DE Tx POR METRO	dB	23.8	23.8	
10	PERDIDA DE LINEA DE TX	dB	7.14	7.14	14.28
11	PERDIDA DE COMBINADOR	dB	3	3	6
12	PERDIDAS EN CONECTORES	dB	1	1	2
13	PERDIDA EN ESPACIO LIBRE	dB			135.12
14	PERDIDA POR DIFRACCION	dB	No existe		
15	PERDIDA TOTAL DEL TRAYECTO	dB			157.4
16	ALTURA DE ANTENA	m	20	20	
17	GANANCIA DE ANTENA	dB	37.34	37.34	
18	GANANCIA DEL REFLECTOR	dB	No existe		
19	GANANCIA TOTAL	dB			74.68
20	GANANCIA DEL SISTEMA	dB			82.72
21	POTENCIA DE TRANSMISION	dBm			24
22	POTENCIA DE RECEPCION A ESPACIO LIBRE	dBm			-58.72
23	PROBABILIDA DE SERVICIO ESTIMADO	%			0.9999
24	PERDIDA POR DESVANECIMIENTO	dB			15.22
25	ATENUACION PRODUCIDA POR LLUVIAS	dB			5.63
26	POTENCIA MINIMA DE PORTADORA EN EL Rx	dBm			-79.57
27	ANCHO DE BANDA DE RUIDO	MHz			7
28	POTENCIA DE RUIDO	dBm			-105.55
29	FIGURA DE RUIDO	dB			7
30	SENSIBILIDAD O UMBRAL DEL RECEPTOR	dBm			-91.5
31	PORTADORA ESPACIO LIBRE A RUIDO	dB			46.83
32	PORTADORA MÍNIMA A RUIDO	dB			18.98
33	PORTADORA SENSIBILIDAD A RUIDO	dB			14.05
34	MARGEN DE UMBRAL	dB			32.78
35	PROBABILIDAD TOTAL DE SERVICIO	%			99.98

FUENTE: Elaboración propia

Con la ayuda del programa Radio Mobile anteriormente visto en el primer enlace siguiendo los mismos pasos obtendremos una similitud en la potencia de recepción en espacio libre:

**FIGURA N° 38:**  
**PERFIL EN RADIO MOBILE ENLACE REPETIDORA – SAN BUENAVENTURA**



FUENTE: Elaboración propia

### 5.5.3. Enlace punto a multipunto

Este enlace esta en toda la zona urbana de la localidad de San Buenaventura para este enlace se usara el equipo RBS 2206 Ericsson.

Por el momento los datos que son de importancia son los siguientes:

$$P_t = 45.5 \text{ (dBm)} \quad S = -111 \text{ (dBm)} \quad f = 850 \text{ (MHz)}$$

Y para nuestra antena usaremos una antena trisectorizada:

$$G_t = 14.6 \text{ (dBi)}$$

- **RADIO ENLACE CON OKUMURA HATA**

$$L_p(\text{urbana}) = 69.55 + 26.16 \log(f[\text{MHz}]) - 13.82 \log(h_B[\text{m}]) - a(h_{RE}) + (44.9 - 6.55 \log(h_B[\text{m}]) * \log(D[\text{km}])))$$

Dónde:

$h_{RE} = 1.5 \text{ (m)}$  Altura de la antena receptora (móvil) factor de corrección

$D[\text{km}] = 1.2$  Radio de la zona urbana

$f[\text{MHz}] = 850$  Frecuencia con la cual trabaja TIGO

$$h_B = h_o + H_o - h_m$$

$$h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$h_m = \frac{20 + 1.5}{2}$$

$$h_m = 10.75 \text{ (m)}$$

Por lo tanto:

$$h_B = 20 + 4185 - 4053$$

$$h_B = 152 \text{ (m)}$$

Ciudades pequeñas y medianas

$$a(h_{RE}) = (1.1 \log(f[\text{MHz}]) - 0.7) * h_{RE} - (1.56 \log(f[\text{MHz}]) - 0.8)$$

$$a(h_{RE}) = (1.1 \log(850) - 0.7) * 1.5 - (1.56 \log(850) - 0.8)$$

$$a(h_{RE}) = 0.01$$

Reemplazando datos se obtendrá:

$$L_p(\text{urbana}) = 69.55 + 26.16 \log(850) - 13.82 \log(152) - 0.01 + (44.9 - 6.55 \log(152) \\ * \log(1.2))$$
$$L_p(\text{urbana}) = 118.44 \text{ (dB)}$$

Atenuación para zonas suburbanas:

$$L_p(\text{suburbana}) = L_p(\text{urbana}) - 2 * \left[ \log\left(\frac{f[\text{Mhz}]}{28}\right) \right]^2 - 5.4$$
$$L_p(\text{suburbana}) = 118.44 - 2 * \left[ \log\left(\frac{850}{28}\right) \right]^2 - 5.4$$
$$L_p(\text{suburbana}) = 108.65 \text{ (dB)}$$

- **PERDIDA TOTAL DEL TRAYECTO**

$$LT = L_f + L_b + L_c + L_o$$

Donde:

$$L_o = 32.44 + 20 \log(850) + 20 \log(1.2)$$
$$L_o = 92.61 \text{ (dBm)}$$

Para las pérdidas de conectores y cable se usaran la misma marca de cable, pero con la variación que nuestra atenuación será para la frecuencia de 850 MHz o en este caso el más próximo.

$$L_f(\text{dB}) = \frac{6.85 \text{ dB}}{100 \text{ m}} * 30 \text{ m} = 2.06$$

Por lo tanto:

$$LT = 2.06 + 3 + 2 + 92.61$$
$$LT = 99.67 \text{ (dB)}$$

- **GANANCIA DEL SISTEMA:**

La ganancia del sistema es la diferencia entre la ganancia total y la pérdida total.

$$G_s = LT - GT$$

$$G_s = 99.67 - 14.6$$

$$G_s = 85.07 \text{ (dB)}$$

**POTENCIA DE RECEPCION EN ESPACIO LIBRE:**

$$C_o = P_t - LT + GT$$

$$C_o = 45.5 - 99.67 + 14.6$$

$$C_o = -39.57 \text{ (dB)}$$

- **BALANCES DEL ENLACE:**

El cuadro de balances del enlace es una tabla donde se recogen los parámetros que intervienen en el cálculo de la cobertura radioeléctrica junto con sus relaciones mutuas, derivadas de la ecuación de balance.

El cuadro se elaborara con los siguientes datos:

1. Sistema transmisor de estación base
  - Potencia del transmisor, 45.5 (dBm)
  - Perdida en el combinador de BS, 3 (dB)
  - Longitud cable conexión antena, 30 (m)
  - Atenuación del cable, 6.85 (dB/m)
  - Ganancia de la antena, 14.6 (dBi)

La longitud del cable es la misma de la estación base en el enlace punto a punto con una altura de torre de 20 (m) y 10 (m) de guarda haciendo un total de 30 (m), con una atenuación de 6.85 (dB/m).

La pérdida del combinador también se mantiene.

## 2. Sistema transmisor de estación móvil

- Potencia de transmisión, 24 (dBm)
- Ganancia de la antena, -3 (dB)

Como se trata de un equipo portátil con antena integrada al mismo, no existen pérdidas por cable y conectores. Se incluyen las pérdidas por defecto del cuerpo del usuario (3 dB).

Se considera una ganancia teórica igual a 0 (dB), por lo que la ganancia neta es de -3 (dB).

## 3. Sistema receptor de estación base

- Factor de ruido en el receptor, 8 (dB)
- Sensibilidad del receptor, -111 (dBm)
- Longitud y tipo de cable de antena como en el transmisor
- Pérdida en el multiacoplador de antena, 3 (dB)
- Ganancia en el preamplificador, 10 (dB)
- Factor de ruido del preamplificador, 2.5 (dB)
- Ganancia de la antena, 14.6 (dBi)
- Factor de ruido de la antena, 8 (dB)

## 4. Sistema receptor de estación móvil

- Factor de ruido del receptor, 10 (dB)
- Sensibilidad del receptor, -102 (dBm)
- Ganancia neta de la antena, -3 (dB)
- Factor de ruido de la antena, 10 (dB)

5. Frecuencias medias

- Enlace descendente, 850 (MHz)
- Enlace ascendente, 800 (MHz)

6. Márgenes

- De interferencia, 3 (dB)
- Log – normal (Z = 90%)

7. Modelo de propagación

- Perdida básica: Formula Hata 118.44 (dB)
- Perdida por penetración de edificios, 10 (dB)

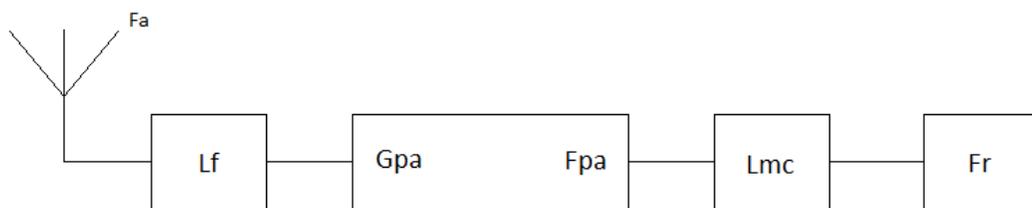
- **POTENCIA DE UMBRAL**

$$P_u(dBm) = S(dBm) + D_n(dB)$$

Hallamos  $D_n$ :

$$D_n(dB) = 10 \log \left( \frac{f_{sis}}{F_r} \right)$$

Donde tendremos los siguientes datos:



**FIGURA N° 39:**

**REPRESENTACION DEL FACTOR DE RUIDO DEL SISTEMA RECEPTOR**

$$f_{sis} = F_a - 1 + L_f * F_{pa} + \frac{L_f}{G_{pa}} (L_{mc} F_r - 1)$$

Dónde:

$F_a$ : Factor de ruido de la antena = 10 (dB)

$L_f$ : Cable de conexión con una pérdida = 0.8 (dB)

$F_{pa}$ : Factor de ruido iguales = 2.5 (dB)

$G_{pa}$ : Preamplificador de ganancia = 10 (dB)

$L_{mc}$ : Multiplicador de antena de pérdida = 6 (dB)

$F_r$ : Factor de ruido = 8 (dB)

Estos son valores para una instalación típica de sistema de conexiones.

En unidades naturales:

$$F_a = 10 ; L_f = 1.2 ; G_{pa} = 10 ; F_{pa} = 1.78 ; L_{mc} = 4 ; F_r = 6.31$$

Realizamos la sustitución de datos:

$$f_{sis} = 10 - 1 + 1.2 * 1.78 + \frac{1.2}{10} (4 * 6.31 - 1)$$

$$f_{sis} = 14.04$$

$$D_n(dB) = 10 \log \left( \frac{14.04}{6.31} \right)$$

$$D_n(dB) = 3.5$$

Por lo tanto la potencia de umbral seria:

$$P_u(dBm) = S(dBm) + D_n(dB)$$

$$P_u(dBm) = -111 + 3.5$$

$$P_u(dBm) = -107.5$$

- **MARGENES**

Para estos datos se recomiendan los datos del informe técnico ETR103 (GSM 03.30):

$$M_i(dB) = 3$$

Para nuestro enlace tendremos la cobertura zonal correspondiente  $Z = 90\%$  con el valor típico para cobertura de medio urbanos  $\sigma = 7 (dB)$ .

El margen lo hallamos mediante la siguiente expresión:

$$M(L) = k(L) \cdot \sigma$$

$$M(L) = 1.28 \cdot 7$$

$$M(L) = 8.96 \cong 9 (dB)$$

- **POTENCIA ISOTROPICA Y CAMPO MEDIANO EN RECEPCION**

$$P_{iso}(dBm) = S(dBm) + D_n(dB) + M_i(dB) + M(L) - G_r(dB)$$

Remplazando datos:

$$P_{iso}(dBm) = -111 + 3.5 + 3 + 9 - (-3)$$

$$P_{iso}(dBm) = -92.5$$

Para el campo mediano en recepción:

$$E (dBu) = P_{iso}(dBm) + 20 \log f (MHz) + 77,2$$

Remplazando datos:

$$E (dBu) = -92.5 + 20 \log(850) + 77,2$$

$$E (dBu) = 43.29$$

- **POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE**

$$PIRE (dBm) = P_t(dBm) - L_{comb}(dB) - \alpha_f \cdot l_f(dB) + G_t(dBi)$$

Remplazando datos:

$$PIRE (dBm) = P_t(dBm) - L_{comb}(dB) - \alpha_f \cdot l_f(dB) + G_t(dBi)$$

Si:

$$L_f(dB) = \frac{6.85 \text{ dB}}{100 \text{ m}} * 30\text{m} = 2.055$$

Más pérdida en conectores tendremos un total de:

$$L_f(dB) = 2.055 + 1 = 3.05$$

Remplazando datos obtendremos:

$$PIRE (dBm) = 45.5 - 6 - 1 * 3.05 + 14.6$$

$$PIRE (dBm) = 51.05$$

- **BALANCE Y PÉRDIDA COMPENSABLE**

$$P_{iso}(dBm) = PIRE(dBm) - L_b(dB)$$

Despejando el dato de  $L_b(dB)$  y remplazando los datos correspondientes tendremos

$$L_b(dB) = -92.5 - (51.05)$$

$$L_b(dB) = -143.55$$

- **COBERTURA DE CALLE:**

Para este cálculo necesitamos usar la fórmula inversa de Hata, con una pérdida igual a la atenuación compensable para calcular la distancia de cobertura de la calle.

- Enlace DL (Downlink) o enlace de bajada

$$d = 10^{\uparrow} \left( \frac{L_b - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_b + a(h_m)}{44.9 - 6.55 \log h_b} \right)$$

Remplazando datos:

$$d = 10^{\uparrow} \left( \frac{118.44 - 69.55 - 26.16 \log 850 + 13.82 \log 152 + 0.01}{44.9 - 6.55 \log 152} \right)$$

$$d = 1.19 \cong 1.2 \text{ km}$$

- Enlace UL (Uplink) o enlace de subida

Dónde:

$$L_p(\text{urbana}) = 69.55 + 26.16 \log(800) - 13.82 \log(152) - 0.01 + (44.9 - 6.55 \log(152) * \log(1.2))$$

$$L_p(\text{urbana}) = 117.76 \text{ (dB)}$$

Tendremos:

$$d = 10^{\uparrow} \left( \frac{L_b - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_b + a(h_m)}{44.9 - 6.55 \log h_b} \right)$$

Remplazando datos:

$$d = 10^{\uparrow} \left( \frac{117.76 - 69.55 - 26.16 \log 800 + 13.82 \log 152 + 0.01}{44.9 - 6.55 \log 152} \right)$$

$$d = 1.2 \text{ km}$$

- **COBERTURA PARA RECEPCION DE INTERIORES**

Para este cálculo se tomara como dato 10 dB la perdida en interiores, debido a que las construcciones de la localidad de San Buenaventura en su mayor porcentaje son construcciones de ladrillo.

Cuando la estación móvil se encuentra dentro de un edificio o en este caso vivienda, la perdida que se utiliza para la fórmula de Hata inversa es la atenuación en un entorno urbano menos la perdida de penetración en edificios.

- Enlace DL (Downlink) o enlace de bajada

$$L_p(\text{urbana}) - L_p(\text{de edificios})$$

$$118.44 \text{ (dB)} - 10 \text{ (dB)}$$

$$108.44 \text{ (dB)}$$

Remplazando datos:

$$d = 10 \uparrow \left( \frac{108.44 - 69.55 - 26.16 \log 850 + 13.82 \log 152 + 0.01}{44.9 - 6.55 \log 152} \right)$$

$$d = 0.56 \cong 560 \text{ (m)}$$

Tenemos una cobertura de 560 (m) en interiores.

- Enlace UL (Uplink) o enlace de subida

$$L_p(\text{urbana}) - L_p(\text{de edificios})$$

$$117.76 \text{ (dB)} - 10 \text{ (dB)}$$

$$107.76 \text{ (dB)}$$

Remplazando datos:

$$d = 10 \uparrow \left( \frac{107.76 - 69.55 - 26.16 \log 800 + 13.82 \log 152 + 0.01}{44.9 - 6.55 \log 152} \right)$$

$$d = 0.565 \cong 570 (m)$$

Tenemos una cobertura de 560 (m) en interiores.

### CUADRO DE BALANCES

TABLA N° 16:

#### CUADRO DE BALANCES DEL ENLACE MULTIPUNTO

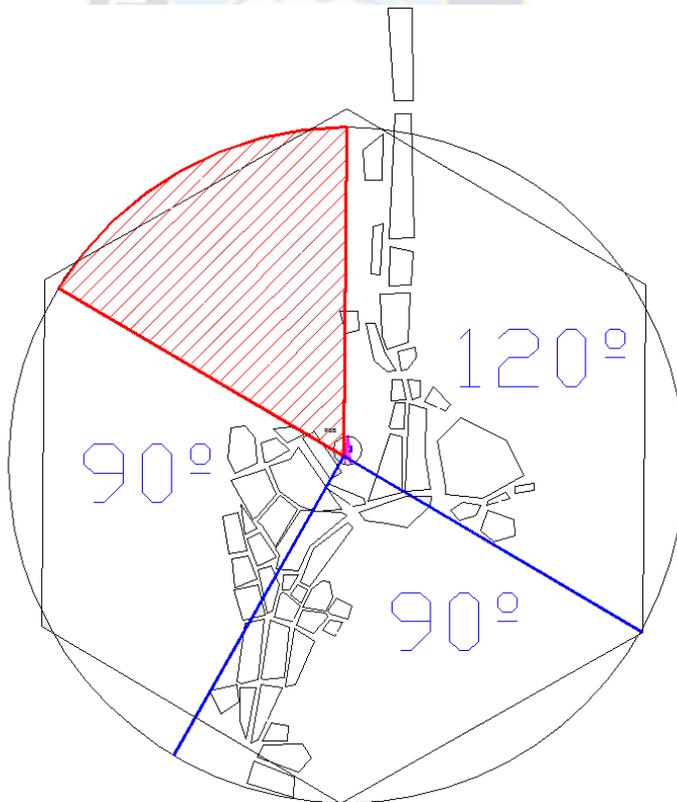
	PARAMETRO	UNIDAD	DL	UL	RELACION
			BS→MS	BS→MS	
<b>A</b>	Potencia del transmisor	dBm	45.5	24	$A = 10 \log p (mw)$
<b>B</b>	Perdida en combinador	dB	3		
<b>C</b>	Perdida de cable y conectores	dB	3.05		
<b>D</b>	Ganancia antena de transmisión	dBi	14.6	-3	
<b>E</b>	PIRE de transmisión	dBm	51.05	21	$E = A - B - C + D$
<b>F</b>	Sensibilidad del receptor	dBm	-111	-102	
<b>G</b>	Degradación por ruido	dB	3.5	2.2	
<b>H</b>	Margen para interferencia	dB	3	3	
<b>I</b>	Margen log-normal	dB	9	9	$I = k (L) * \sigma$
<b>J</b>	Ganancia antena de recepción	dBi	-3	14.6	
<b>K</b>	potencia isotrópica	dBm	-92.5	-102.4	$K = F + G + H + I - J$
<b>L</b>	$20 \log f (MHz)$		58.59	58.06	
<b>M</b>	Campo mediano en recepción	dBu	43.29	32.86	$M = K + L + 77.2$
<b>N</b>	Perdida compensable	dB	143.55	123.4	$N = E - K$
<b>O</b>	Cobertura en la calle	km	1.2	1.2	
<b>P</b>	Cobertura d (km) para recepción de interiores	km	0.56	0.57	

FUENTE: Elaboración propia

- **PLANIFICACION DE FRECUENCIAS**

Lamentablemente la planificación de frecuencias no podrá ser vista en nuestro proyecto debido a que la localidad y su entorno geográfico no nos permite aplicar una solo celda en toda la zona a cubrir. Para tener más detalle de este inciso se sugiere revisar la repartición de la celda en la localidad de San Buenaventura, con la ayuda del programa Autocad se realizó una planimetría de la localidad de San Buenaventura por manzanos aplicando el radio de nuestra celda y la dirección de las antenas.

**FIGURA N° 40:**  
**PLANIMETRIA DE LA LOCALIDAD DE SAN BUENAVENTURA VISTO DESDE EL**  
**AUTOCAD CON EL AREA DE COBERTURA DE LA CELDA**

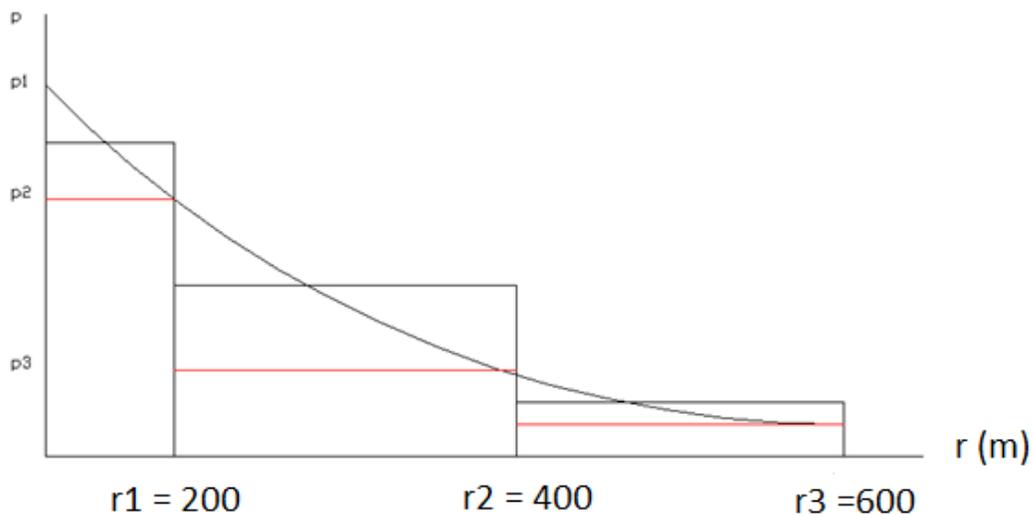


**FUENTE:** Elaboración propia

- **TRAFICO Y RADIO CELULAR:**

Para nuestro enlace se tendrán las siguientes distribuciones por sector:

**FIGURA N° 41:**  
**DISTRIBUCION POR SECTORES EN LA LOCALIDAD DE SAN BUENAVENTURA**



FUENTE: Elaboración propia

Basándonos que nuestra antena se encuentra en el centro de la localidad de San Buenaventura, usando el cálculo de tráfico en escalera siendo nuestro primer sector  $r_1 = 200$  (m), segundo sector  $r_2 = 400$  (m), tercer sector  $r_3 = 600$  (m) sumados nos dan el radio de la localidad a cubrir 1200 (m) o 1.2 (km).

Seguidamente calcularemos los valores medios de la función exponencial en cada sector:

$$p_1 = p(0) \frac{r_0}{r_1} [1 - e^{(-r_1/r_0)}]$$

Donde  $p(0)$  es el cálculo anteriormente encontrado como tráfico esperado igual a 15.66 (E/km<sup>2</sup>). Reemplazando datos:

$$p_1 = 15.66 * \frac{0.40}{0.20} [1 - e^{(-0.20/0.40)}]$$

$$p_1 = 12.32$$

Para:

$$p_2 = \frac{15.66 * 0.40}{(0.40 - 0.20)} [e^{(-0.20/0.40)} - e^{(-0.40/0.40)}]$$

$$p_2 = 7.47$$

Y:

$$p_3 = \frac{15.66 * 0.40}{(0.60 - 0.40)} [e^{(-0.40/0.40)} - e^{(-0.60/0.40)}]$$

$$p_3 = 4.53$$

Ahora se calcula el número de canales para cada sector, la constante k debido a que solo usaremos una celda es considerada una celda omnidireccional por lo tanto k=1:

$$A = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2k} \rho$$

$$A_1 = \frac{3\sqrt{3} * 0.20^2}{2(1)} (12.32)$$

$$A_1 = 1.28$$

$$A_2 = \frac{3\sqrt{3} * 0.40^2}{2(1)} (7.47)$$

$$A_2 = 3.11$$

$$A_3 = \frac{3\sqrt{3} * 0.60^2}{2(1)} \quad (4.53)$$

$$A_3 = 4.24$$

Realizando la sumatoria de los tres sectores tendremos:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_T = 1.28 + 3.11 + 4.24$$

$$A_T = 8.63$$

Una vez conseguido el total, nos guiamos con la tabla de Erlang B con probabilidad de bloqueo del 2% para identificar los canales a usar:

**TABLA N° 17**

**TABLA REDUCIDA DE ERLANG B AL 2% DE BLOQUEO**

13	7.40	33	24.63	53	43.06
14	8.20	34	25.53	54	44.00
15	9.01	35	26.43	55	44.94
16	9.83	36	27.34	56	45.88
17	10.66	37	28.25	57	46.82
18	11.49	38	29.17	58	47.76

FUENTE: Elaboración propia

Tomado el valor más próximo obtenemos un total de 15 canales a usar, reduciendo nuestro primer valor considerablemente.

- **MODELO DE MOVILIDAD**

$$v = \frac{(\rho_p \cdot v_p + \rho_v \cdot v_v)}{100}$$

Los valores están basados a un valor típico de movilidad tanto del usuario peatonal como del usuario que se encuentra dentro de un móvil (medio de transporte) valores aproximados a la realidad en el entorno de la localidad de San Buenaventura.

$\rho_p$ : Usuarios peatonales = 70 %

$\rho_v$ : Usuarios en vehículo = 10%

$v_p$ : Velocidad del peatón = 3 km/h

$v_v$ : Velocidad del vehículo = 40 km/h

Remplazando datos:

$$v = \frac{(0.70 \cdot 3 + 0.10 \cdot 40)}{100}$$

$$v = 0.061$$

$$v = 6.1 \text{ (km/h)}$$

La densidad de móviles que transitan:  $\rho_M = 40 \text{ (mov/km}^2\text{)}$

El radio es de 1.2 (km) de la zona urbana de San Buenaventura

Para el cálculo del número medio de móviles que cruza el contorno de una celda por hora es:

$$N_c = 2 \cdot \rho_M \cdot v \cdot R$$

$$N_c = 2 \cdot 40 \cdot 6.1 \cdot 1.2$$

$$N_c = 585.6 \text{ (moviles)}$$

$$N_c = 586 \text{ (moviles)}$$

Tomando una fracción de móviles activos considerado en  $k = 0.5$

Tiempo medio de duración de una llamada aproximadamente en  $\bar{\tau} = 90 \text{ (s)}$

Obtendremos que la tasa de cruces por los móviles activos es de:

$$\eta = k \cdot \frac{N_c}{M} = 2k \cdot \frac{v}{\pi R}$$

$$\eta = 2k \cdot \frac{v}{\pi R} = 2(0.5) * \frac{6.1}{\pi(1.2)}$$

$$\eta = 5.08$$

$$\eta = 708.20 \text{ s}$$

- **TRAFICO TELEFONICO PARTICULAR**

Hallaremos la intensidad media del tráfico ofrecido por un usuario móvil en la hora cargada, BH (Busy Hour):

$$a = \frac{\lambda_{MO} \cdot \tau_{MO} + \lambda_{MT} \cdot \tau_{MT}}{3600}$$

Este valor contiene todas las tentativas de llamadas tengan o no éxito.

$\lambda_{MO}$ : Llamadas originadas en el móvil = 0.6

$\lambda_{MT}$ : Llamadas terminadas en el móvil = 0.3

$\tau$ : Duración media de una llamada = 90 (s)

La intensidad media de tráfico ofrecido por el móvil es:

$$a = \frac{0.6 * 90 + 0.3 * 90}{3600}$$

$$a = 0.023 (E)$$

$$a = 23 \text{ m}(E)$$

- **TRAFICO DE SEÑALIZACION COMUN**

Usando los siguientes datos que son típicos y datos anteriormente hallados:

$N_{LA} = 1$  celda

$$NPR = 2$$

$$NM = 3$$

$$P_{NA} = 0.02$$

$$N_c = 586 \text{ (moviles)}$$

$$P_{NRC} = 0.05 \text{ (cobertura del 95\%)}$$

$$K = 0.5$$

$$M = k \cdot \frac{N_c}{\eta}$$

$$M = 0.5 \cdot \frac{586}{5.08}$$

$$M = 57.67 \text{ móviles}$$

$$M = 58 \text{ móviles}$$

Calculamos  $P(N_{LA})$ :

$$P(N_{LA}) = 1 - \frac{N_{LA} - 1}{2N_{LA}}$$

$$P(N_{LA}) = 1 - \frac{1 - 1}{2(1)}$$

$$P(N_{LA}) = 1$$

Reemplazando datos obtendremos el dato de actualización:

$$\lambda_{LU} = \frac{k \cdot N_c \cdot P(N_{LA})}{M_\pi}$$

$$\lambda_{LU} = \frac{0.5 \cdot 586 \cdot 1}{58\pi}$$

$$\lambda_{LU} = 1.61$$

Tenemos que:

$\lambda_{MO}$ : Llamadas originadas en el móvil = 0.6

$\lambda_{MT}$ : Llamadas terminadas en el móvil = 0.3

Para:

$\lambda_{AD}$ : Conexión/Desconexión = 1

Las actividades de conexión / desconexión y actualización requieren tomar un canal RACH, por esta razón calculamos la tasa primaria de acceso a este canal que por hora será:

$$\begin{aligned}\lambda_{RACH} &= \lambda_{AD} + \lambda_{MO} + \lambda_{MT} + \lambda_{LU} \\ \lambda_{RACH} &= 1 + 0.3 + 0.6 + 1.61 \\ \lambda_{RACH} &= 3.51\end{aligned}$$

Por último calculamos el dato de aviso:

$$\begin{aligned}\lambda_{PG} &= \lambda_{MT} \left( NPR(N_{LA} - 1) + \frac{(NM - 1)P_{NRC}}{1 + P_{RNC} + P_{NA}} + 1 \right) \\ \lambda_{PG} &= 0.3 \left( 2(1 - 1) + \frac{(3 - 1)(0.05)}{1 + 0.05 + 0.02} + 1 \right) \\ \lambda_{PG} &= 0.33\end{aligned}$$

## 5.6. PANEL SOLAR

El panel solar se compone de celdas de silicio, que convierte la luz solar en electricidad. La batería de acumulación almacena la energía de los paneles en los momentos en que no se dispone de luz solar o que las características de la energía proporcionada por el panel sean insuficientes para satisfacer la energía requerida por el equipo.

## 5.7. SISTEMAS DE TIERRA

Para la instalación del sistema de tierra será necesario abrir pozos enterrando las jabalinas de cobre de 5/8" de diámetro y de 2.4 metros de profundidad, estas jabalinas estarán unidas con cable de cobre con soldadura exotérmica.

Posteriormente el tratamiento que se realizara en los pozos será rellenado con tierra vegetal, abono animal y bentonita (geogel o torgel). Se humedecen con agua para llegar a una resistencia de 5 ohmios.

## **5.8. VALLADO DE LA BTS**

Los sistemas de seguridad física y alarmas, en este caso el vallado de la BTS es muy importante, es seguridad anti-intruso y anti- incendios para evitar daños contra los equipos.

Suministro de fluido eléctrico: Para los equipos que lo requieran.

Sistemas de climatización: su objetivo es garantizar de todos los elementos dentro de los márgenes de temperatura permitidos.

Sistemas de soporte: para la conducción de cables desde los sistemas radiantes hacia la caseta.

## **5.9. OBRA CIVIL DEL SITIO**

Las obras civiles consisten en la infraestructura requerida para contener y proteger los equipos electrónicos de las BTS. La obra civil puede variar según el tipo de equipo que se vaya a instalar. Existen dos tipos de instalación en equipos que son los *Indoor* y *Outdoor*.

Para este proyecto, se considera usar una instalación *Outdoor*, es decir, una estación donde los equipos son instalados en casetas aisladas mediante un perímetro de protección ante cualquier amenaza.

**CAPITULO VI**  
**ANÁLISIS ECONÓMICO**

Para los costos en el radio enlace punto a punto y punto a multipunto se tomó en cuenta los equipos a utilizar, instalación, mantenimiento, uso de frecuencia, alquiler de ancho de banda y el personal que es necesario para cumplir con instalación y mantenimiento, todos los precios están expresados en dólares americanos (Sus).

**6.1. ACTIVOS**

**TABLA Nº 18:**  
**ACTIVOS DEL PORYECTO**

<b>ACTIVOS</b>	<b>PRECIO UNITARIO (FOB) (Sus)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO CIF ADUANA (Sus)</b>	<b>PRECIO ALMACENES TIGO (Sus)</b>
<b>ITEM</b>				
RBS 2206 ERICSSON	1800	1	1980	2574
ANTENA TRIBANDA 7750	215	1	237	308
ANTENAS VHLP4-7W	150	4	660	858
SISTEMA DE PROTECCION	200	3		600
CABLE COAXIAL	4.65	200		930
SISTEMA REGULADOR DE TEMPERATURA	250	3		750
BANCO DE BATERIAS	1000	3	3300	4290
PANEL SOLAR	764.94	1	841.43	1093.86
<b>TOTAL</b>				<b>11403.86</b>

FUENTE: Elaboración propia

## 6.2. PASIVOS

**TABLA N° 19**  
**PASIVOS DEL PROYECTO**

<b>PASIVOS</b>	<b>MONTO (Sus)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
<b>INSTALACION</b>			
INGENIERO	600	1	600
TECNICOS	300	3	900
VIATICOS	15	300	4500
MATERIAL Y EXTRAS	5000	3	15000
TOTAL			21000
<b>MANTENIMIENTO</b>			
TECNICOS	200	2	400
VIATICOS	8	300	2400
TOTAL			2800
<b>FRECUENCIAS</b>			
ASIGNACION DE FRECUENCIA	1500	12	18000
USO DE FRECUENCIA	200	6	1200
TOTAL			19200
TOTAL PASIVOS			43000

FUENTE: Elaboración propia

### 6.3. INGRESOS

Según el historial de llamadas por la empresa TIGO con poblaciones similares se tiene:

Llamadas móvil – móvil 25% de usuarios con un aproximado de 2 min/llamada con su respectiva tarifa.

$$\frac{128 \text{ llamadas} * 2 \frac{\text{min}}{\text{llamada}} * 30 \text{ dias} * 1.59 \frac{\text{Bs}}{\text{min}} * 12 \text{ meses}}{6.96 \text{ (Sus)}} \\ = 21053.79 \text{ (Sus)}$$

Llamadas móvil – fijo 20 % de usuarios con un aproximado de 3 min/llamada con su respectiva tarifa.

$$\frac{105 \text{ llamadas} * 3 \frac{\text{min}}{\text{llamada}} * 30 \text{ dias} * 1.00 \frac{\text{Bs}}{\text{min}} * 12 \text{ meses}}{6.96 \text{ (Sus)}} \\ = 16293.10 \text{ (Sus)}$$

Envío de SMS 20% de usuarios con su respectivo costo por envío.

$$\frac{105 \text{ SMS} * 30 \text{ dias} * 0.20 \frac{\text{Bs}}{\text{x sms}} * 12 \text{ meses}}{6.96 \text{ (Sus)}} \\ = 1086.21 \text{ (Sus)}$$

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1. CONCLUSIONES**

El análisis socio-económico y de mercado demostró que el área a cubrir y donde se prestaran los servicios de telefonía móvil celular GSM en la zona urbana de la localidad de San Buenaventura del departamento de La Paz, donde se contara con el 7.51% un total de 512 usuarios o abonados de una proyección de 5 años, es viable realizar el proyecto en dicha localidad.

La zona a cubrir y la demanda estimada determino que solo se necesita una solo estación base BS, para cumplir satisfactoriamente las especificaciones de diseño. No se consideró cubrir la red de carreteras que llevan a la localidad de San Buenaventura.

A pesar de los accidentes topográficos con las que cuenta la localidad de San Buenaventura, solo se requirió una estación de repetición en el diseño de la red de transmisión. Esto representa un gran ahorro en los costos de inversión debido a que podrían haber sido más estaciones repetidoras dadas las condiciones geográficas de la zona.

El periodo calculado de recuperación de la inversión y la estimación económica para el proyecto es financieramente aceptable, esto lo transforma a una opción rentable para la empresa.

Paralelamente al beneficio económico que para la empresa representa, el valor social que se brinda a las localidades que carecen de este servicio es mucho más valioso, al poner a disposición de cada usuario un medio seguro, confiable y buena calidad para comunicarse, acercando al resto del país y del mundo. A la fecha, estos servicios básicos son nulos en muchos municipios y localidades aledañas debido a que las

empresas no las toman en cuenta. Con un estudio como este se podrá ver que es factible realizar e implementar este proyecto en muchas más localidades.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

El presente proyecto a pesar de darse en condiciones y usando datos reales y próximos, quedan verificaciones de campo que deben ser analizadas con más detalle y definidas para concretarse durante la implementación física del mismo. Dentro de estas hay que validar los puntos donde se ha desarrollado el diseño de cada estación base y de transmisión, dado que estas pueden cambiar o variar de su ubicación en función de disponibilidad de renta y licencias municipales, entre otras una mejor línea de vista respecto al enlace y las condiciones topográficas que presenta la localidad donde se piensa realizar la construcción de las estaciones base.

Todo lo que conlleva la telefonía móvil debe ser un servicio continuo, por este motivo, es conveniente evaluar los respaldos de energía eléctrica con el objetivo de mantener la calidad de servicio, aun en las adversidades. Para tal efecto, tenemos respaldos de energía en este caso bancos de energía, se podría realizar un estudio si estos bancos de energía son suficientes o se deberán implementar más o de mayor duración de la establecida.