

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Diseño de una Red de Acceso inalámbrico utilizando tecnología  
CDMA 450 Mhz para el distrito de Ahuac, provincia de Chupaca,  
departamento de Junín

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico

Presentado por:

Walter Aliaga Aliaga

Lima – Perú  
2008

## Resumen

La presente tesis abarca el diseño de una red de acceso inalámbrica utilizando tecnología CDMA en la frecuencia de 450 Mhz para el distrito de Ahuac, provincia Chupaca, Departamento Junín.

El primer capítulo presenta el estudio de la problemática de la red de acceso de telecomunicaciones en dicho distrito, teniendo en cuenta sus condiciones geográficas y características socio-económicas.

El segundo capítulo muestra los conceptos generales de una red de acceso inalámbrica para zonas rurales, describiendo los sistemas de comunicaciones rurales, las centrales telefónicas, los sistemas de transmisión y las tecnologías de acceso inalámbrica para zonas rurales.

El tercer capítulo presenta los datos para el análisis de la red de acceso inalámbrica, se define la hipótesis, los objetivos, el universo, el procedimiento para el análisis de datos, las definiciones operativas y se muestra la propuesta del diseño de la red.

El cuarto y último capítulo describe el diseño de la red de acceso, analizando diversos factores como: cálculo del radio de cobertura de la estación base, cálculo del link budget, cálculo del número de canales, el cálculo del enlace entre la estación base y la central de conmutación, infraestructura a utilizar, costo del proyecto y su viabilidad económica.

FACULTAD  
DE CIENCIAS  
E INGENIERÍA90  
AÑOSPONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de una Red de Acceso Inalámbrico Utilizando Tecnología CDMA 450 Mhz para el Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Departamento de Junín

Área : Comunicaciones # 470

Asesor : Ing. Alex Chávez Ramírez

Alumno : Walter Aliaga Aliaga

Código : 19982003.8.12

Fecha : 6 de Junio de 2007

## Descripción y Objetivos

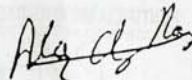
El distrito de Ahuac en la provincia de Chupaca, departamento de Junín es uno de los cientos de poblados del país que no cuenta con un servicio adecuado de telecomunicaciones, lo cual sin lugar a dudas imposibilita el desarrollo de las personas que habitan dicha localidad.

Recientemente se vienen utilizando nuevas tecnologías para el diseño de una red de acceso, entre ellos los sistemas VSAT y los sistemas punto multipunto, los cuales permiten superar las dificultades propias que se presentan en dichos centros poblados como son las condiciones geográficas y climáticas juntamente a los factores socio-económicos.

La presente tesis abarca el diseño de una red de acceso inalámbrica utilizando tecnología CDMA en la frecuencia de 450 Mhz, la cual permitirá ofrecer en primera instancia un servicio de telefonía fija así como una plataforma para posteriores servicios como el de telefonía móvil y multimedia.

Para el desarrollo de la presente tesis se tomarán en cuenta factores técnicos y económicos como el radio de cobertura, pérdida de la señal de propagación, capacidad de abonados, presupuesto y viabilidad económica.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA
  
 Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA  
 Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica





FACULTAD  
DE CIENCIAS  
E INGENIERÍA



90  
AÑOS

PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de una Red de Acceso Inalámbrico Utilizando Tecnología CDMA 450 Mhz para el Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Departamento de Junín

Índice

Introducción

1. Descripción de la red de acceso del distrito de Ahuac
2. Redes de acceso inalámbricas para zonas rurales
3. Datos para el análisis de la red inalámbrica en el distrito de Ahuac
4. Diseño de la red de acceso inalámbrica con tecnología CDMA 450 Mhz para el distrito de Ahuac

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

*Máximo 100 páginas*

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

*P. Flores*  
Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



***“Todo lo ha hecho ella”***

A Norma, mi madre, por su amor, confianza  
y sacrificio.

A Edgar, mi hermano, por su cariño, compañía  
y amistad.

## Índice

### Título

### Introducción

### Capítulo 1: Descripción de la red de acceso del distrito de Ahuac

1.1. Ubicación y descripción geográfica del distrito.....	1
1.2. Descripción socio-económica del distrito.....	1
1.2.1. Población.....	2
1.2.2. Recursos Humanos.....	2
1.2.3. Economía.....	3
1.2.3. Infraestructura.....	3
1.3. Infraestructura de telecomunicaciones.....	4
1.4. Declaración de Variables Externas.....	5
1.5. Declaración del Marco Problemático.....	9

### Capítulo 2: Redes de acceso inalámbricas para zonas rurales

2.1. Sistemas de comunicación rural.....	10
2.1.1. Zonas rurales.....	10
2.1.2. Modelos de redes rurales.....	11
2.1.3. Modelos topológicos básicos asociados a las redes rurales.....	11
2.1.4. Componentes de una red rural y sus funciones.....	12
2.1.5. Red telefónica nacional y red rural.....	15
2.2. Centrales Telefónicas.....	16
2.2.1. Entorno de Centrales Telefónicas.....	17
2.3. Sistemas de transmisión.....	18
2.3.1. Portadores en los sistemas de transmisión.....	18
2.3.2. Sistemas monocanales.....	21
2.3.3. Sistemas de acceso múltiple.....	21
2.4. Tecnologías de acceso inalámbrico para zonas rurales.....	25
2.5. Modelo Teórico.....	31

### Capítulo 3: Datos para el análisis de la red inalámbrico en el distrito de Ahuac

3.1 Hipótesis .....	33
3.1.1. Hipótesis Principal.....	33
3.1.2. Hipótesis Secundarias.....	33
3.2 Objetivos .....	34
3.1.1 Objetivo General.....	35
3.1.2 Objetivos Específicos.....	35
3.3. Metodología de la Investigación.....	35
3.3.1 Universo y muestra.....	35
3.4. Procedimientos e Instrumentos para el análisis.....	36
3.5. Definiciones Operativas .....	37
3.5.1. Indicadores Cuantitativos.....	37
3.5.2. Indicadores Cualitativos.....	38
3.6. Propuesta del diseño de la Red.....	39
<b>4. Diseño de la red de acceso inalámbrica con tecnología CDMA 450 Mhz para el distrito de Ahuac</b>	
4.1. Diseño de la red.....	41
4.1.1. Cobertura del área de atención.....	41
4.1.2. Cálculo del Link Budget.....	43
4.1.3. Cálculo del Radio de Cobertura.....	46
4.1.4. Cálculo del número de canales.....	47
4.1.5. Cálculo del enlace entre la estación base y la central de conmutación.....	49
4.1.6. Evaluación del enlace más adecuado.....	58
4.2. Infraestructura.....	60
4.2.1. Infraestructura Estación Base.....	60
4.2.2. Infraestructura Central de Conmutación.....	71

**4.3. Costos**

4.3.1. Costos de la Estación Base.....	74
--	----

**4.4. Viabilidad del proyecto**

4.4.1. Ingresos de la red de acceso.....	75
--	----

4.4.2. Cálculo del VAN y TIR.....	76
-----------------------------------	----

Conclusiones .....	85
--------------------	----

Fuentes.....	87
--------------	----

Abreviaciones.....	88
--------------------	----

Anexos





## Índice de Tablas

### Capítulo 1

Tabla 1.1: Número de centros educativos en los diferentes niveles de educación.....	3
Tabla 1.2: Indicadores de trabajo y empleo del distrito de Ahuac.....	3
Tabla 1.3: Número de viviendas con servicios básicos.....	4

### Capítulo 2

### Capítulo 3

Tabla 3.1: Distribución poblacional del distrito de Ahuac.....	36
--	----

### Capítulo 4

Tabla 4.1: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso con la central de conmutación ubicada en Chupaca.....	59
Tabla 4.2: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso utilizando la estación base de Ticlio.....	60
Tabla 4.3: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso utilizando un enlace VSAT con la central de Callahuanca.....	61
Tabla 4.4: Costos de los equipos de telecomunicaciones de la estación base.....	77
Tabla 4.5: Costos de la infraestructura de telecomunicaciones de la estación base.....	77
Tabla 4.6: Costos del sistema de energía de la estación base.....	77
Tabla 4.7: Costo total de la estación base.....	78
Tabla 4.8: Costos operativos de la red de acceso.....	78

Tabla 4.9: Ingresos de la red de acceso por cada nuevo abonado.....	79
Tabla 4.10: Ingreso mensual de la red de acceso durante el primer año.....	79
Tabla 4.11: Flujo de caja del primer año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	81
Tabla 4.12: Flujo de caja del segundo año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	81
Tabla 4.13: Flujo de caja del tercer año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	82
Tabla 4.14: Flujo de caja del cuarto año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	82
Tabla 4.15: Flujo de caja del quinto año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	83
Tabla 4.16: Flujo de caja del primer año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	84
Tabla 4.17: Flujo de caja del segundo año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	85
Tabla 4.18: Flujo de caja del tercer año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	85
Tabla 4.19: Flujo de caja del cuarto año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	86
Tabla 4.20: Flujo de caja del quinto año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	86

## Índice de Figuras

### Capítulo 1

Figura 1.1: Mapa del distrito de Ahuac.....	2
---	---

### Capítulo 2

Figura 2.1: Estructura general de una red rural.....	13
Figura 2.2: Red nacional y Red rural.....	16
Figura 2.3: Diagrama del sistema de acceso múltiple FDMA.....	22
Figura 2.4: Diagrama del sistema de acceso múltiple TDMA.....	23
Figura 2.5: Diagrama del sistema de acceso múltiple CDMA.....	23
Figura 2.6: Diagrama del ensanchamiento de secuencia directa en CDMA.....	24
Figura 2.7: Comunicaciones por impulsos meteóricos.....	26
Figura 2.8: Diagrama de una red CDMA.....	30

### Capítulo 3

Figura 3.1: Diagrama de la propuesta del diseño de la Red de Acceso.....	40
--	----

### Capítulo 4

Figura 4.1: Radio de Cobertura de la BTS.....	48
Figura 4.2: Línea de vista entre la BTS (Ahuac) y MSC (Chupaca).....	52
Figura 4.3: Línea de enlace entre la BTS (Ahuac) y la Estación Base (Ticlio).....	53
Figura 4.4: Línea de enlace entre la BTS (Ahuac) y la Repetidora 1 (Ticlio).....	54
Figura 4.5: Línea de enlace entre la Repetidora 1 y la Repetidora 2.....	54
Figura 4.6: Línea de enlace entre la Repetidora 2 y la Repetidora 3.....	55
Figura 4.7: Línea de enlace entre la Repetidora 3 y la Repetidora 4.....	55
Figura 4.8: Línea de enlace entre la Repetidora 4 y la Repetidora 5.....	56
Figura 4.9: Línea de enlace entre la Repetidora 5 y la Repetidora 6.....	56
Figura 4.10: Línea de enlace entre la Repetidora 6 y la Repetidora 7.....	57

Figura 4.11: Línea de enlace entre la Repetidora 7 y la Estación base.....57

Figura 4.12: Enlace VSAT entre la BTS y la Central de conmutación .....58

Figura 4.13: Micro BTS modelo ZXC 10 ZTE .....62

Figura 4.14: Terminal VSAT modelo SkyEdge Pro .....64

Figura 4.15: Antena modelo ASP-705K Andrew .....65

Figura 4.16: Torre Autosoportada.....66

Figura 4.17: Banco de baterías.....69

Figura 4.18: BSC modelo ZXC 10 ZTE.....73

Figura 4.19: MSS modelo ZXC 10 ZTE .....74



## Índice de Tablas

**Capítulo 1**

Tabla 1.1: Número de centros educativos en los diferentes niveles de educación.....	3
Tabla 1.2: Indicadores de trabajo y empleo del distrito de Ahuac.....	3
Tabla 1.3: Número de viviendas con servicios básicos.....	4

**Capítulo 2****Capítulo 3**

Tabla 3.1: Distribución poblacional del distrito de Ahuac.....	36
--	----

**Capítulo 4**

Tabla 4.1: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso con la central de conmutación ubicada en Chupaca.....	59
Tabla 4.2: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso utilizando la estación base de Ticlio.....	60
Tabla 4.3: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso utilizando un enlace VSAT con la central de Callahuanca.....	60
Tabla 4.4: Costos de los equipos de telecomunicaciones de la estación base.....	75
Tabla 4.5: Costos de la infraestructura de telecomunicaciones de la estación base.....	75
Tabla 4.6: Costos del sistema de energía de la estación base.....	75
Tabla 4.7: Costo total de la estación base.....	76
Tabla 4.8: Costos operativos de la red de acceso.....	76



Tabla 4.9: Ingresos de la red de acceso por cada nuevo abonado.....	77
Tabla 4.10: Ingreso mensual de la red de acceso durante el primer año.....	77
Tabla 4.11: Flujo de caja del primer año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	79
Tabla 4.12: Flujo de caja del segundo año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	79
Tabla 4.13: Flujo de caja del tercer año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	80
Tabla 4.14: Flujo de caja del cuarto año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	80
Tabla 4.15: Flujo de caja del quinto año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron.....	81
Tabla 4.16: Flujo de caja del primer año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	81
Tabla 4.17: Flujo de caja del segundo año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	83
Tabla 4.18: Flujo de caja del tercer año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	83
Tabla 4.19: Flujo de caja del cuarto año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	85
Tabla 4.20: Flujo de caja del quinto año siendo la red de acceso parte de la red Valtron.....	85

## Introducción

Los pobladores de las zonas rurales del Perú representan el 28 % de la población total del país; es decir, unos 7 millones de habitantes aproximadamente. Estas zonas son caracterizadas por las difíciles condiciones geográficas y climáticas en las que se encuentran, aunadas a su bajo nivel social y económico.

El distrito de Ahuac, en la provincia de Chupaca, departamento de Junín es uno más de las cientos de zonas rurales del país que no cuentan con los servicios básicos necesarios, entre ellos un servicio de comunicaciones apropiado.

Lamentablemente todo lo mencionado, no favorece a la mejora del grado de desarrollo de esta zona, ya que es difícil, por estos medios convencionales y tan limitados, ofrecer el servicio de telefonía fija así como aplicaciones de tipo multimedia como son los servicios de Tele-educación, Tele- medicina, Comercio, etc.

Es frente a esta situación que surge la necesidad de diseñar una red de acceso con tecnología moderna para dicha zona, de tal modo que se logre superar las limitaciones actuales.

La presente tesis comprende el diseño de una red de acceso inalámbrico bajo el uso de la tecnología CDMA 450 Mhz, con lo cual, en primera instancia, se espera brindar servicios básicos de telecomunicaciones, con la posibilidad de ofrecer posteriormente servicios de tipo multimedia, lo que sin lugar a dudas permitirá una mejora en la calidad de vida de los habitantes de dicho distrito.

El primer capítulo de la presente tesis se enfoca en el estudio de la problemática tanto de la red actual de comunicaciones del distrito de Ahuac, así como de las condiciones geográficas, climáticas y socio-económicas del mismo. Se presenta el estudio acerca de la ubicación y descripción geográfica del distrito, descripción socio-económica, datos de población, recursos humanos, economía, infraestructura, variables externas para finalmente presentar la declaración del marco problemático.

El segundo capítulo presenta los conceptos teóricos más relevantes acerca de las redes de acceso inalámbricas para zonas rurales, se muestran definiciones acerca de los sistemas de comunicación rural, zonas rurales, modelos de redes rurales, componentes de una red rural y sus funciones, red telefónica nacional y rural, centrales telefónicas, sistemas de transmisión, sistemas de acceso múltiple, y finalmente el modelo teórico.

El tercer capítulo abarca el estudio de los datos de análisis para la red de acceso inalámbrica, se presenta la definición de la hipótesis, tanto principal como secundaria, objetivo principal y objetivos específicos, metodología de la investigación, procedimientos e instrumentos para el análisis, definiciones operativas y propuesta del diseño de la red.

El cuarto y último capítulo presenta el diseño de la red propiamente dicha, se muestra el diseño de la red de acceso, el cálculo del área de atención, cálculo de link budget, cálculo del radio de cobertura, cálculo del tráfico, cálculo del enlace entre la estación base y la central de conmutación, evaluación del enlace de comunicación más adecuado, así mismo se presenta la infraestructura de la estación base, de la central de conmutación, costos de la estación base, ingresos de la red de acceso y viabilidad económica mediante el cálculo del VAN y TIR.

## **Capítulo 1. Descripción de la red de acceso del distrito de Ahuac**

### **1.1. Ubicación y descripción geográfica del Distrito**

El distrito de Ahuac [Fig1.1] se encuentra ubicado en la provincia de Chupaca, departamento de Junín, a una altura de 3315 m.s.n.m. Posee una extensión de 78.04 Km.<sup>2</sup>. Presenta un relieve accidentado como resultado de la presencia de la alta Meseta Central de los Andes [1].

El clima es templado con tendencia a frío, lluvioso de diciembre a abril y escampado de mayo a noviembre. La temperatura máxima es de 18° C por las tardes, durante todo el año, y de 2° C bajo cero como mínimo, por las noches, entre los meses de mayo y julio [2].

### **1.2. Descripción socio-económica del distrito**

#### **1.2.1. Población**

El distrito de Ahuac cuenta con una población de 8 339 habitantes, distribuidos en 25 centros poblados [1].

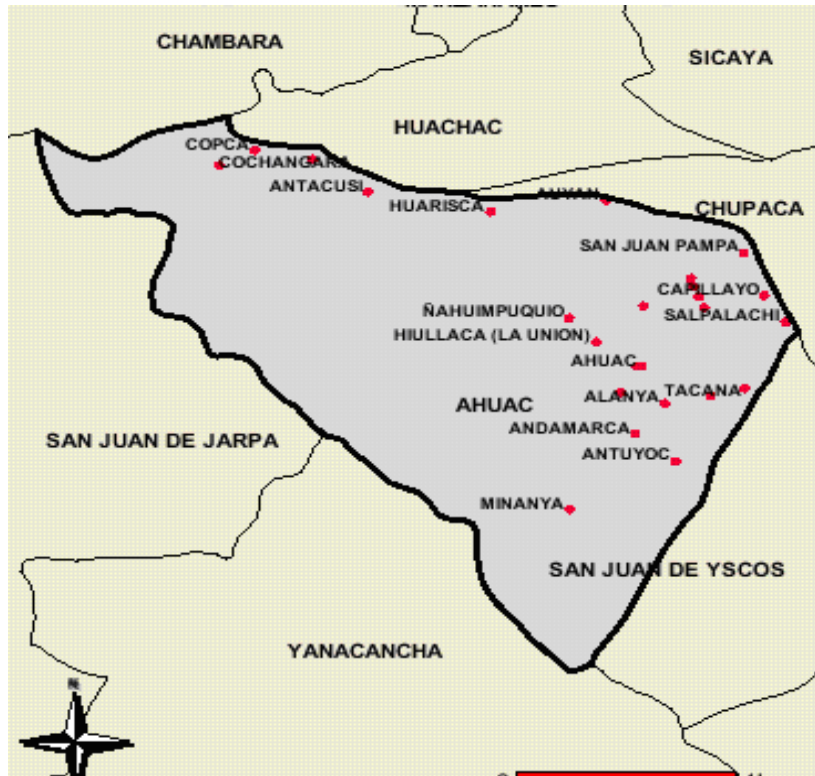


Figura 1.1: Mapa del distrito de Ahuac, provincia Chupaca, departamento Junín

### 1.2.2. Recursos Humanos

La ausencia de centros superiores de educación, así como las difíciles condiciones económicas en las que se encuentran los pobladores de este distrito, imposibilitan la disponibilidad de personal técnico calificado.

La siguiente tabla muestra el número de instituciones educativas en los distintos niveles de educación en el distrito. [3].

Nivel Educativo	Cantidad
Inicial	6
Primaria	13
Secundaria	2
Superior	0

Tabla 1.1: Número de instituciones educativas en los diferentes niveles de educación



### 1.2.3. Economía

Las actividades económicas principales del distrito de Ahuac son la agricultura y la ganadería, las cuales condicionan a los habitantes a niveles de ingreso muy bajos, siendo en la mayoría de los casos una economía de subsistencia.

El siguiente cuadro nos muestra los indicadores de trabajo y empleo [1].

Población Económicamente Activa (PEA) de 6 y más años – Total	2199
Población Económicamente Activa (PEA) de 6 y más años – Mujeres	1305
Población Económicamente Activa (PEA) de 6 y más años – Hombres	894
Tasa de Actividad Económica de la PEA de 15 y más años	48.6
% de la población ocupada de 15 y más años - En la agricultura	65.8%
% de la población ocupada de 15 y más años - En los servicios	22.6%
% de la población ocupada de 15 y más años – Asalariados	25.9%

**Tabla 1.2: Indicadores de trabajo y empleo del distrito de Ahuac**

### 1.2.4. Infraestructura

El distrito de Ahuac presenta condiciones de infraestructura muy limitadas; sus vías de acceso son carreteras no asfaltadas; el sistema de energía no cubre a un gran porcentaje de la población y los servicios de saneamiento son nulos.

El siguiente cuadro nos indica la cantidad de viviendas con servicios básicos [1].

Total de Viviendas Particulares	2166
Viviendas con Servicio de Desague	1001
Viviendas con alumbrado eléctrico	179
% de hogares en viviendas particulares - Sin agua, ni desagüe ni alumbrado	22.9

**Tabla 1.3: Número de viviendas con servicios básicos**

### **1.3. Infraestructura de telecomunicaciones**

#### **1.3.1. Cobertura**

El área de cobertura de los servicios de telefonía pública sólo comprende las zonas más cercanas a las capitales de los centros poblados. La capital del distrito actualmente tiene 4 puntos de acceso en toda su extensión geográfica.

#### **1.3.2. Tecnología**

El medio de transmisión utilizado es el inalámbrico; se utilizan sistemas VSAT y sistemas de radio para comunicar los diferentes centros poblados.

#### **1.3.3. Empresa**

Telefónica del Perú es la empresa operadora que brinda el servicio de telefonía fija en la provincia de Chupaca. Respecto a la telefonía móvil, Telefónica y Claro son las empresas que ofrecen este servicio.

#### **1.3.4. Proveedores**

Entre las empresas más importantes que brindan servicio de telecomunicaciones, ya sea del tipo fijo o móvil, destacan: Telefónica, Claro y Telmex.

#### **a) Inversión**

Organismos como el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (Fitel) o el Organismo Supervisor de la inversión privada en Telecomunicaciones (Osiptel) diseñan, promueven y ejecutan diversos proyectos relacionados con las tecnologías de información y comunicación (TIC) en las zonas más necesitadas.

## **b) Regulación**

El Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) y el Organismo de la inversión privada en telecomunicaciones (Osiptel) son los entes encargados de regular las tarifas asignadas por los operadoras, así como de monitorear la calidad del servicio y el cumplimiento de todas las normas y procedimientos establecidos por ley.

## **1.4. Declaración de Variables Externas**

### **1.4.1. Medio General**

#### **a) Condiciones Geográficas**

Las condiciones geográficas que presenta el distrito de Ahuac son difíciles, esto es debido a la presencia de la alta meseta Central de los Andes, que influye de manera directa en la cobertura que un sistema de telecomunicaciones puede ofrecer.

#### **b) Proveedores**

Entre las empresas operadoras del servicio de telecomunicaciones tenemos a Claro, Telmex y Nextel, las cuales ofrecen servicio de telecomunicaciones móviles en las principales zonas de la provincia de Chupaca.

### **1.4.2. Medio Organizacional**

**a) Economía**

Como se mencionó anteriormente, las principales actividades económicas del distrito de Ahuac vienen a ser la agricultura y la ganadería, siendo éstas, en la gran mayoría de casos, sólo de subsistencia, situación que afecta sin lugar a dudas a la adquisición de nuevos servicios.

**b) Inversión**

Ofrecer servicios básicos a las zonas rurales constituye un medio eficaz para su desarrollo, lo cual puede ser posible utilizando eficazmente los recursos brindados por empresas u organismos nacionales e internacionales.

**c) Entes normativos**

Entre los organismos que regulan el adecuado uso de los servicios de telecomunicaciones tenemos, en el ámbito nacional, al Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL) y al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mientras que en el campo internacional tenemos como ente supervisor a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).

**d) Tecnología**

Con el fin de proporcionar nuevos servicios de telecomunicaciones es posible hacer uso de tecnología de última generación, la cual se encuentra a disponibilidad mundial.

**e) Mercado Actual**

Debido a factores principalmente de índole económico se puede señalar que el mercado de usuarios que actualmente ofrece el distrito de Ahuac no es muy elevado,

sin embargo esto no debe ser un factor excluyente para ofrecer el servicio de telecomunicaciones.

### **1.4.3. Medio Específico**

#### **a) Recursos Humanos**

El distrito de Ahuac sólo cuenta con instituciones educativas hasta el nivel secundario, lo cual genera la ausencia de recursos humanos capacitados para un mejor desarrollo socio-económico.

#### **b) Empresa**

Las empresas que actualmente proveen el servicio de telefonía de tipo público en el distrito de Ahuac, son la operadora Telefónica del Perú y otras de carácter privado.

#### **c) Infraestructura**

El distrito de Ahuac, por razones socio-económicas, presenta limitada infraestructura, como es el caso de vías de acceso en malas condiciones y servicios básicos casi nulos.

#### **d) Cobertura**

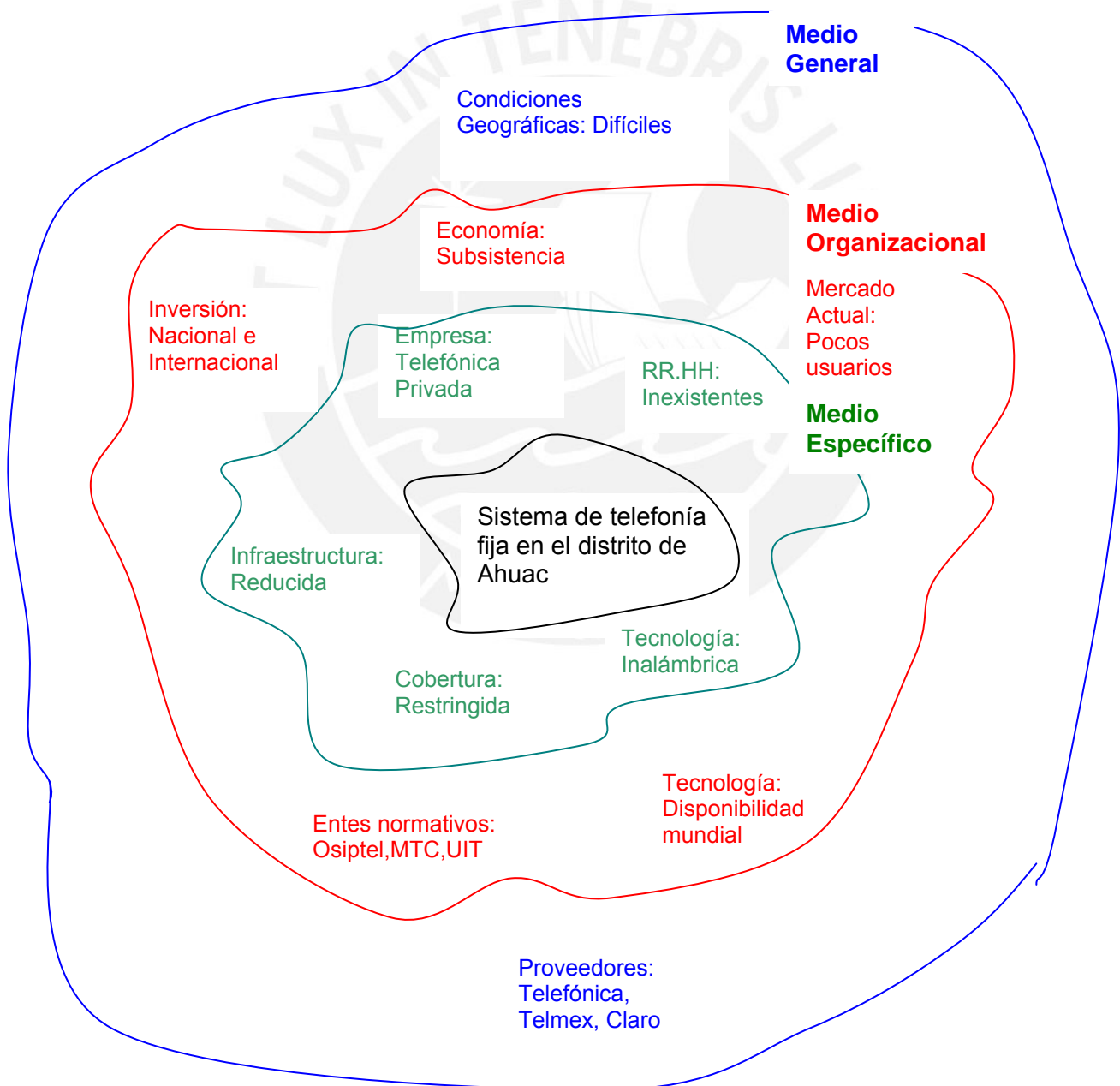
En la actualidad sólo se ofrece el servicio de telecomunicaciones en la zona central de la capital del distrito de Ahuac, lo cual imposibilita a la gran mayoría de pobladores, sobre todo a la gente de menos recursos, tener un servicio básico.

#### **e) Tecnología**



Debido a razones económicas y de ingeniería, la manera más eficiente de ofrecer el servicio de telecomunicaciones en el distrito de Ahuac es mediante tecnología inalámbrica, la cual permite ofrecer una mayor cobertura utilizando menos recursos.

#### 1.4.4. Representación Gráfica de las Variables Externas



### 1.5. Declaración del marco problemático

El distrito de Ahuac, en la provincia de Chupaca, se caracteriza principalmente por tener condiciones climáticas y geográficas que dificultan y condicionan la implementación de servicios; situación esta que aunada a la escasez y en algunos casos a la ausencia total de infraestructura y recursos de distinta índole, en el caso de servicios de telecomunicaciones, imposibilitan el uso de tecnologías del tipo convencional.

Así mismo, las actividades económicas en dicha zona se caracterizan por ser economías de subsistencia, situación que produce una tasa muy pobre de inversión en adquisición de nuevos servicios. Si a ello se agrega la poca acogida que estos sectores sociales despiertan en las empresas operadores de servicios de comunicaciones, llegamos a presentar la realidad actual del distrito, donde un alto porcentaje de la población no cuenta con ningún tipo de servicio de telecomunicaciones.

## **Capítulo 2. Redes de acceso inalámbricas para zonas rurales**

### **2.1. Sistemas de comunicación rural**

#### **2.1.1. Zonas rurales**

Una zona rural puede consistir en asentamientos dispersos, aldeas o pequeñas ciudades, y puede estar situada a varios cientos de kilómetros de una ciudad o centro urbano. Sin embargo, en algunos casos una zona suburbana puede también ser considerada rural [4].

Una zona rural presenta una o varias de las siguientes características:

- Escasez o ausencia de instalaciones y servicios públicos, por ejemplo, suministro fiable de electricidad y agua, carreteras de acceso y transporte regular.
- Escasez de personal técnico.
- Condiciones topográficas difíciles, por ejemplo, lagos, ríos, colinas, montañas o desiertos, que hace muy costosa la construcción de redes de telecomunicaciones alámbricas.
- Condiciones climáticas rigurosas que pueden afectar de forma crítica los equipos.

- Bajo nivel de actividad económica, basado principalmente en la agricultura, la pesca, la artesanía, etc.
- Bajo ingreso por habitante.
- Tasas de llamada muy elevadas por línea telefónica, que reflejan la escasez del servicio telefónico y el hecho de que gran número de personas utilizan una línea telefónica única.

### **2.1.2. Modelos de redes rurales**

La planificación de la red rural deberá tener en cuenta el desarrollo socioeconómico y los servicios de telecomunicación necesarios. Si bien es muy difícil establecer procedimientos o modelos de desarrollo que se adapten a todo tipo de redes, éstas deben orientarse a prestar o mejorar los servicios de telecomunicaciones en las zonas rurales, para facilitar su desarrollo e integración en la economía del país.

Un modelo de red rural comprende la interconexión con la red telefónica nacional y el establecimiento de enlaces entre abonados individuales, así como la conexión con la red nacional.

Entre los factores que influyen en el modelo podemos señalar:

- Número y ubicación de los abonados.
- Futuro crecimiento previsto de la densidad de abonados.
- Características geográficas del terreno
- Existencia o planes de infraestructuras importantes
- Desarrollo socioeconómico existente y previsto.

### **2.1.3. Modelos topológicos básicos asociados a las redes rurales**

Es importante identificar cierto número de configuraciones topológicas básicas de red que pueden utilizarse para definir todo problema de disposición de la red rural.

En general, cada configuración puede asociarse a un medio ambiente determinado desde los puntos geográficos, de la ubicación, la distancia, el terreno, la disponibilidad de infraestructuras, los sistemas de telecomunicación, etc.

Cada configuración topológica representa un modelo de red. Hallar un modelo topológico de red adecuado que se adapte a las condiciones locales dadas, representa en realidad un elemento fundamental para la planificación de la transmisión en la red. En este caso los modelos topológicos que se mencionan se refieren a la red local o de abonado.

Pueden distinguirse cuatro modelos topológicos básicos:

- Estrella
- Ramificado
- Anillo
- Línea

En el caso de las redes rurales, las configuraciones ramificadas son las más comunes. En principio pueden asociarse indistintamente cada uno de los modelos a la función de transferencia o a la de distribución. Sin embargo, es necesario aclarar que no todas las configuraciones mencionadas tienen el mismo valor práctico debido a las dificultades de aplicación.

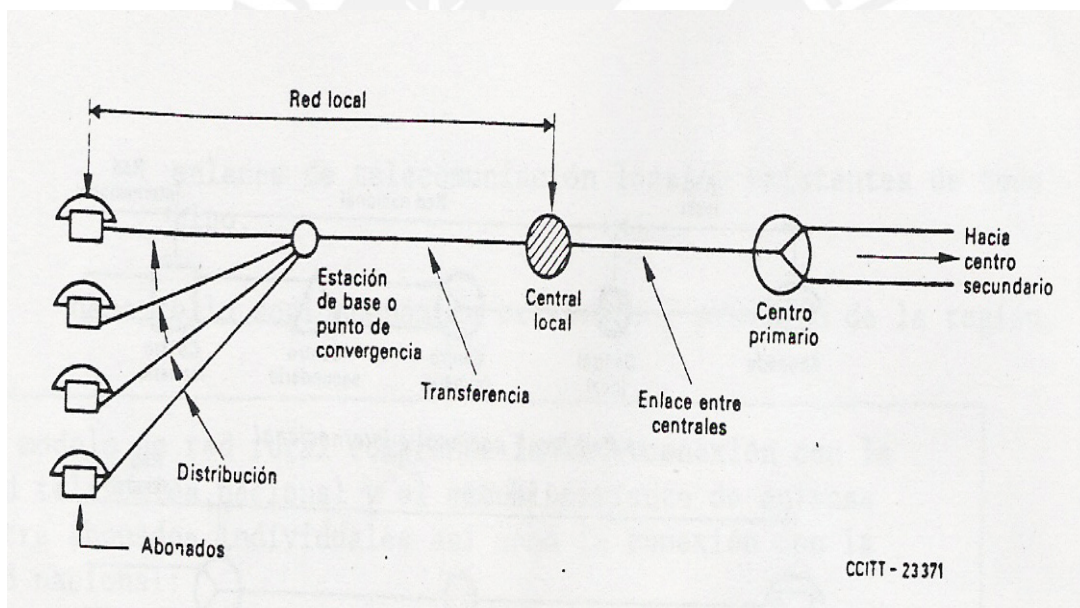
#### **2.1.4. Componentes de una red rural y sus funciones**



En la figura 2.1 se representa la estructura general de una red rural, donde es posible identificar varias funciones distintas y a cada una de ellas asociarlas con una clase determinada de sistema de transmisión.

También se observa en dicha figura un punto de distribución o convergencia, además de las centrales de diferentes niveles que caracterizan la estructura de la red; se trata de un punto de la zona rural donde convergen todos los enlaces correspondientes a los abonados individuales de la misma zona. Los puntos de convergencia no toman parte de la red nacional.

**Figura 2.1: Estructura general de una red rural y funciones de sus componentes**



En una zona servida por una central local individual pueden existir varias estaciones de base. Cuando los enlaces de abonado convergen directamente en la central local no existe punto de convergencia.

Las funciones de una red rural pueden estar relacionadas con la conmutación o la transmisión de canales telefónicos.

Respecto a la transmisión, las funciones más destacadas son:

#### **a) Distribución**

Esta función identifica los enlaces individuales entre abonados de un grupo dado y el punto de convergencia asociado a los mismos. Un sistema de transmisión es utilizado para distribución cuando los terminales de canales telefónicos se hallan (al menos en teoría) en los locales de abonado. Así mismo se puede efectuar la función de distribución con concentración o sin concentración, según que los canales se asignen a los abonados individuales de una manera fija o en función de la demanda.

#### **b) Transferencia de líneas de abonado**

Esta función identifica el enlace entre un punto de convergencia y la central local. Se emplea un sistema de transmisión para la transferencia cuando encamina dos o más canales telefónicos a lo largo de la ruta. La función de transferencia es típica de las redes rurales. La red de abonados es una red rural, es la asociación de un sistema de transferencia y un sistema de distribución.

Puede efectuarse la función de transferencia sin concentración o con concentración según que el número de canales telefónicos realmente transmitidos sea igual o inferior a los que deben transferirse, respectivamente.

#### **c) Enlaces entre centrales**

Esta función identifica los circuitos entre centrales telefónicas. En una red rural, los enlaces se refieren típicamente la conexión entre centrales locales o centrales satelitales y un centro primario. Los sistemas utilizados para estos enlaces son funcionalmente los mismos que los utilizados para la transferencia, pero difieren de ellos en las características de tolerancia y en la señalización que para la transferencia se efectúa por bucle de abonado.

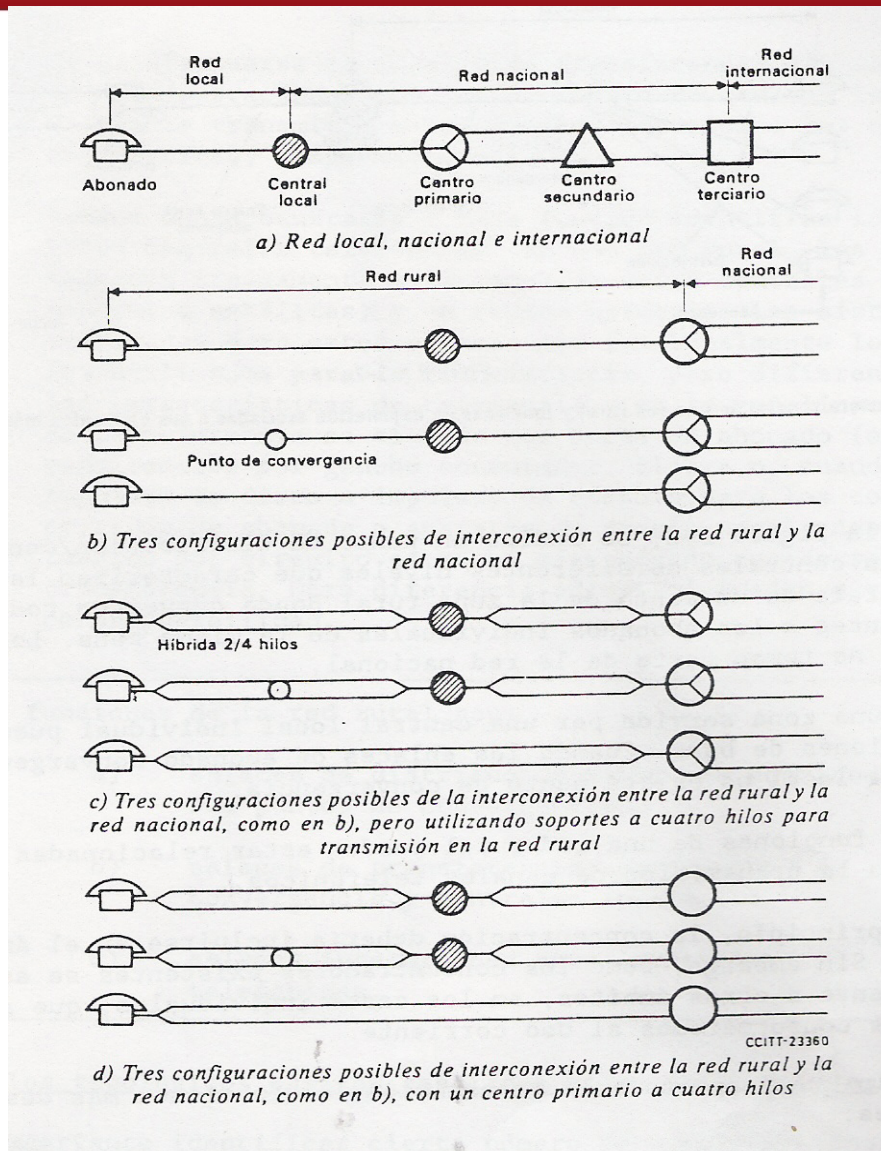
#### **2.1.5. Red telefónica nacional y red rural**

Una red telefónica rural no es más que una parte de la red telefónica nacional, en cuya estructura general debe integrarse.

La figura 2.2, señala la recomendación del ITU -T sobre el Plan de transmisión, muestra los límites de la red rural en relación con la red nacional y algunas configuraciones de redes rurales típicas [4].

En general, todas las instalaciones de transmisión y conmutación que han de utilizarse para prestar servicio a una zona de tipo rural constituyen una red rural.

Las redes rurales utilizan ampliamente sistemas de transmisión distintos de las simples líneas físicas a un nivel jerarquizado, esta circunstancia tiene un efecto considerable sobre el ruido y la calidad de la transmisión.



**Figura 2.2:** Red nacional y red rural , algunas configuraciones típicas de la red rural

## 2.2. Centrales Telefónicas

Una central telefónica es el sistema encargado de establecer el enlace entre dos abonados (llamante y llamado) que desean establecer una comunicación, para ello dispone de los medios físicos, funciones y señalización necesarios para alcanzarlos con efectividad. [5]



Se pueden mencionar algunos tipos de centrales:

a) **Central Local:** Es una central de conmutación a la cual se conectan los abonados.

Los abonados pueden estar conectados directamente a la cabecera o bien a las unidades remotas.

b) **Central de tránsito:** Es una central que permite la interconexión de centrales entre si, para manejar el tráfico de llamadas locales, nacionales o internacionales.

Sólo maneja el tráfico de llamadas. Se presentan los siguientes tipos:

- **Tandem:** Interconecta centrales locales principalmente, por lo tanto maneja sólo tráfico interurbano.
- **Nodales:** Interconecta centrales locales para el tráfico nacional
- **Internacionales:** Interconecta centrales locales para tráfico nacional [22]

### 2.2.1. Entorno de Centrales Telefónicas

a) **Planta Interna:** Conjunto de instalaciones comprendidas en el interior del edificio en donde se ubica una central telefónica. Está constituida por la central telefónica, los equipos de energía, equipos de transmisiones y el MDF o distribuidor.

b) **Planta Externa:** Es el conjunto de instalaciones comprendidas sobre los edificios de las centrales y los domicilios de los abonados y entre las centrales entre si. La planta externa se divide en dos grupos:

- **Red de abonados:** Constituida por el conjunto de elementos que permiten la unión de los terminales de abonado con su central.
- **Red de enlace:** Constituida por el conjunto de elementos que permiten la conexión entre las centrales [5].

## 2.3. Sistemas de transmisión

### 2.3.1. Portadores en los sistemas de transmisión

En una estructura de red rural, las funciones de transmisión pueden realizarse mediante diferentes tipos de portadores.

Un portador es un medio capaz de transportar información a distancia con un ancho de banda determinado y que comprende todos los equipos destinados a tal fin.

En la planificación de una red rural de telecomunicaciones es importante definir el sistema de transmisión más adecuado para suministrar las conexiones telefónicas deseadas, dentro de las condiciones particulares de la zona. Las condiciones a tener en cuenta son, entre otras, el clima, la densidad de población y su distribución geográfica, y el nivel de desarrollo socio-económico.

Los tipos de sistemas de transmisión que se pueden utilizar son los siguientes:

- Líneas aéreas de hilo desnudo
- Sistemas por cable
- Sistemas radioeléctricos.

#### a) Líneas aéreas de hilo desnudo



Este sistema es favorable cuando las condiciones climáticas lo permiten y es necesario encaminar, a través de largas distancias, haces de circuitos que, aunque relativamente pequeños, están en constante extensión.

Si bien es cierto que este sistema ha perdido importancia como consecuencia de nuevas tecnologías, las líneas aéreas de hilo desnudo ofrecen cierto interés cuando se trata de suministrar el servicio telefónico a zonas en las cuales la población se encuentra dispersa, o en zonas de desarrollo, con condiciones climáticas apropiadas, o en el caso de instalaciones provisionales cuando la planificación definitiva está en estudio.

Las líneas aéreas de hilo desnudo están constituidas por conductores paralelos, no protegidos por cubierta alguna, suspendidos a cierta altura del suelo. Cada conductor está sujeto a aisladores montados en crucetas. El material conductor suele ser cobrado estirado en frío o acero recubierto de bronce o cobre, o cable de aluminio reforzado con acero. Por razones de tipo mecánico, las líneas aéreas de hilo desnudo tienen mayores diámetros de conductor que las líneas de cable [4].

#### **b) Sistemas por cable**

En las redes rurales se emplean cables aptos para tendido subterráneo o aéreo. La planificación de la red rural sólo se diferencia de la planificación de la red normal cuando se contempla el caso de los abonados dispersos en una amplia zona.

Los conductores de cable son generalmente hilos de cobre recocido. Como conductores de cables acometida pueden utilizarse hilos de acero revestido de bronce o cobre. El diámetro de los conductores fluctúa mucho y depende de la situación de la red [4].

### c) Sistemas radioeléctricos

Los sistemas radioeléctricos pueden constituir una solución conveniente para los haces de circuitos interurbanos y en bucles entre el aparato de abonado y la central, que constituyen la estructura principal de una red rural. En muchos casos ese sistema representa la única solución posible, tanto desde el punto de vista técnico como del económico [4].

Resulta útil contemplar el sistema radioeléctrico a todos los niveles jerárquicos de la estructura de la red. La siguiente clasificación se adapta a la estructura jerárquica de las telecomunicaciones rurales:

#### - Sistemas radioeléctricos de distribución de líneas de abonado

- Un solo canal telefónico punto a punto, ondas métricas y decimétricas.
- Sistemas de acceso múltiple.
- Sistemas por satélite.
- Sistemas de ondas métricas.

#### - Sistemas radioeléctricos de transferencia de líneas de abonado

- Un solo canal telefónico, ondas métricas y decimétricas.
- Múltiplex de pequeña capacidad, ondas métricas, decimétricas y centrimétricas.
- Sistemas por satélite.
- Sistemas de ondas decamétricas.
- Sistemas de dispersión troposférica.

#### - Sistemas radioeléctricos para enlace entre canales

- Múltiplex de pequeña capacidad, ondas centimétricas y decimétricas.
- Múltiplex de gran capacidad, ondas centimétricas.
- Sistemas por satélite.
- Sistemas de ondas decamétricas.
- Sistemas de dispersión troposférica.

### 2.3.2. Sistemas monocanales

Los sistemas monocanales en ondas métricas y decimétricas se utilizan normalmente para la distribución. También son utilizados para realizar funciones de transferencia de líneas de abonado y de enlace entre centrales. Cuando se utilizan para transferencia el portador monocanal es fundamentalmente una extensión del segmento de distribución.

Para la distribución se pueden considerar dos modos de funcionamiento:

#### a) Modo de asignación exclusiva de canales

Cada canal radioeléctrico de un haz atribuido a una zona geográfica se asigna exclusivamente a un abonado.

#### b) Modo de compartición de canales

Un número determinado de canales radioeléctricos atribuidos a la zona se asigna a una cantidad mayor de abonados. Estos sistemas son denominados de acceso múltiple.

### **2.3.3. Sistemas de acceso múltiple**

Estos sistemas permiten que varias conexiones o flujos de información compartan los recursos de la red. En general, pueden clasificarse en sistemas de Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA), sistemas de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y sistemas de Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).

#### **a) Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA )**

Este sistema divide el ancho de banda en un conjunto de rangos de frecuencias o ranuras, cada una de las cuales tiene capacidad para la señal correspondiente a una conexión individual. El multiplexor asigna una ranura a cada conexión y utiliza técnicas de modulación para situar la señal en la zona de frecuencias adecuada. Este proceso proporciona una única señal combinada que contiene todas las conexiones. La señal resultante es transmitida y el demultiplexor recupera las señales correspondientes a cada conexión[6].

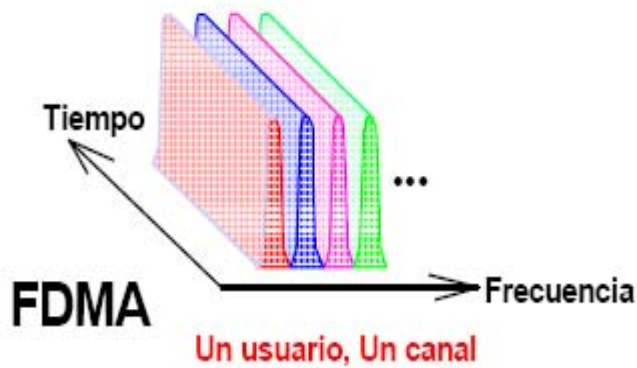


Figura 2.3: Diagrama del sistema de acceso múltiple FDMA

b) Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA )

En este tipo de acceso cada usuario dispone de toda la banda de frecuencia durante un determinado período de tiempo denominado ventana (slot). Sólo es necesario transmitir las muestras de la señal en un número finito de instantes para que pueda ser reconstruido en el receptor. Las muestras de otras señales pueden ser intercaladas en la transmisión y también pueden ser recuperadas en la recepción a través de un detector síncrono adecuado[6].

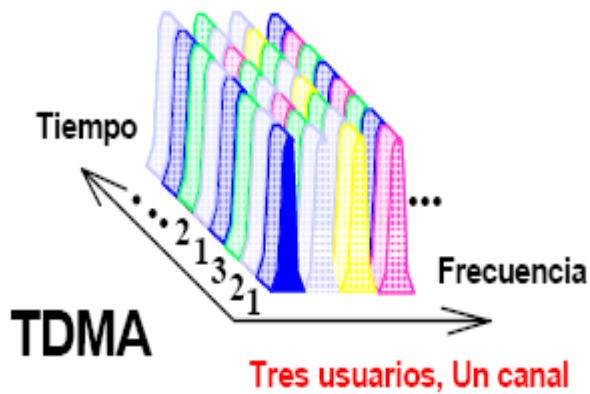


Figura 2.4: Diagrama del sistema de acceso múltiple TDMA

c) Acceso Múltiple por División de Código (CDMA )

En TDMA y en FDMA las transmisiones procedentes de los diferentes usuarios están claramente separadas, respectivamente, en el tiempo o en la frecuencia. En CDMA, la transmisión de los distintos usuarios ocupa la banda de frecuencias completa simultáneamente en el tiempo, en este caso, las transmisiones se separan mediante el empleo de un código diferente para cada uno de los usuarios. Los receptores utilizan estos códigos para recuperar la señal procedente de la estación deseada[6].

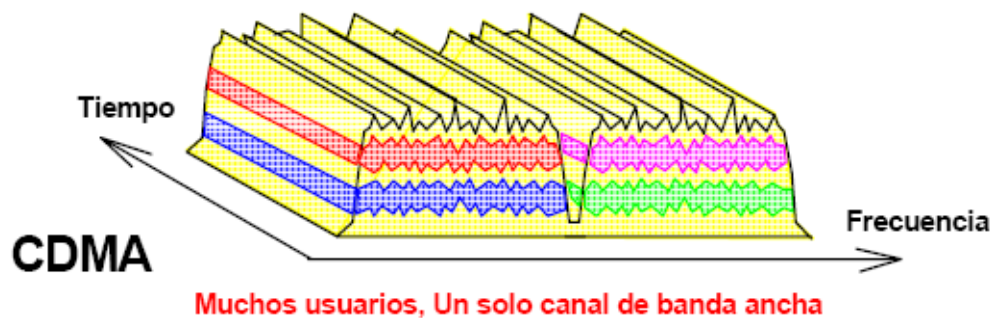


Figura 2.5: Diagrama del sistema de acceso múltiple CDMA



Una característica distintiva del CDMA es la técnica de transmisión conocida como Espectro Ensanchado (SS). Esta técnica emplea un código de pseudos-ruido (PN), independiente de la información que expande la energía de la señal a transmitir sobre un ancho de banda mucho más grande que el ancho de banda de la señal, reduciendo el efecto negativo de interferencia en una frecuencia particular. Esta técnica tiene la propiedad de que las señales no deseadas con diferentes códigos son tratadas como ruidos por el receptor de tal manera que únicamente el mismo código puede recuperar la información en el receptor. En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques del funcionamiento del ensanchamiento de espectro en el CDMA [7].

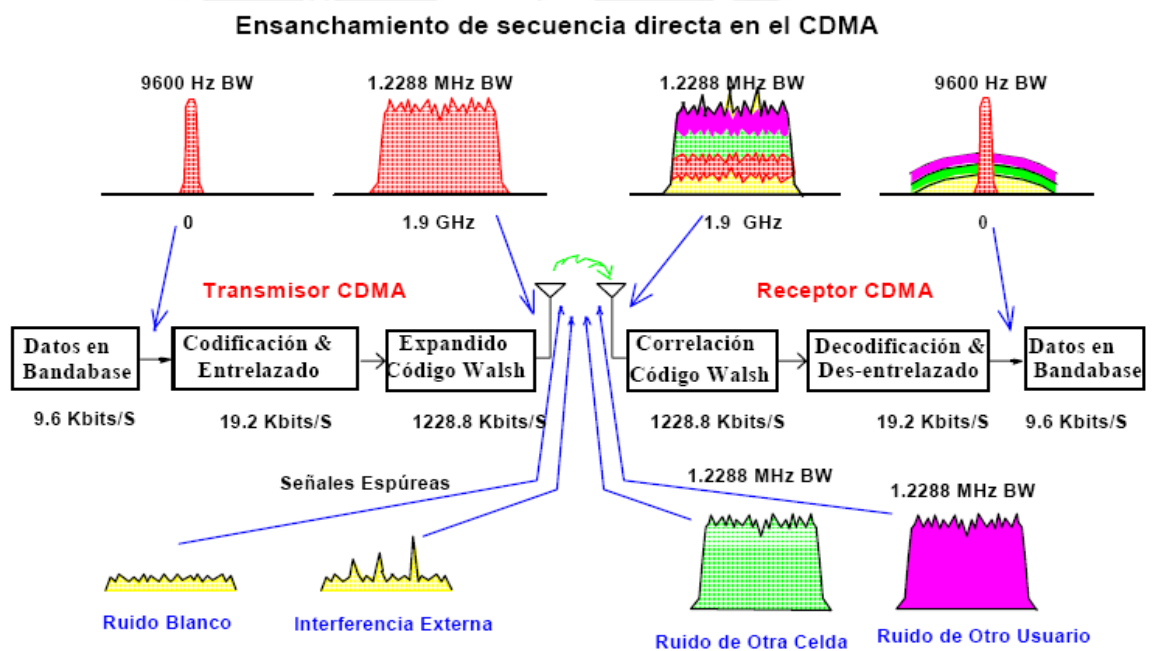


Figura 2.6: Diagrama del ensanchamiento de secuencia directa en CDMA

## 2.4. Tecnologías de acceso inalámbricas para zonas rurales

Algunos de los sistemas de acceso inalámbricos que se vienen utilizando en la actualidad, son: Unos, que describen nuevas aplicaciones de tecnologías antiguas, como es el caso de la radiocomunicación en ondas métricas o las comunicaciones por impulsos meteóricos, para transmitir correo electrónico. Los otros restantes describen las recientes combinaciones de tecnología que han sido ensayadas en las zonas rurales, por ejemplo, los terminales de muy pequeña apertura (VSAT) integrados en los sistemas de bucle local inalámbrico.

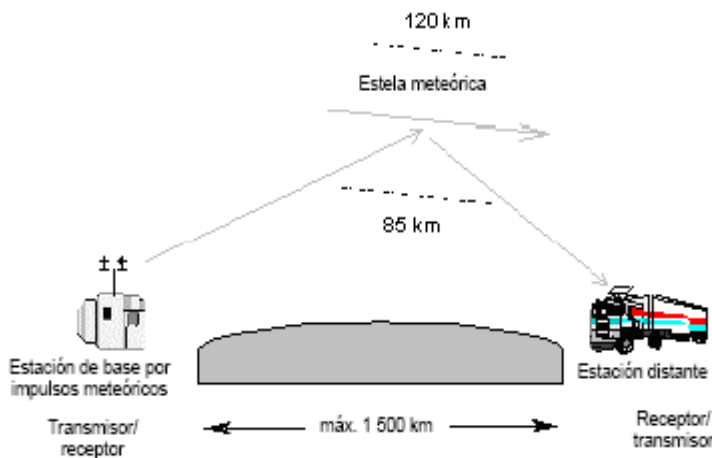
### a) Radiocomunicaciones por paquetes en banda estrecha

Existe una larga tradición de utilización de sistemas de radiocomunicaciones en ondas métricas y decimétricas para las comunicaciones locales en zonas rurales, debido a su bajo costo y la facilidad de instalación. En varios países se utilizan nodos de radiocomunicaciones por paquetes para establecer radios regionales, por ejemplo, la red de radiocomunicaciones por paquetes de América Central (CAPRA), una red básica inalámbrica que se extiende de Guatemala a Panamá. Una red de radiocomunicaciones por paquetes utiliza, como configuración básica de repetidor, un transceptor, un controlador de nodo terminal (TNC), una antena y una fuente de alimentación de energía [8].

Las limitaciones de la anchura de banda de las redes de radiocomunicaciones por paquetes obedecen a las bajas frecuencias empleadas y los canales atribuidos. Por ejemplo, un canal normalizado 12,5 kHz soporta una velocidad de transmisión de datos de hasta 1 200 baudios.

### b) Comunicaciones por impulsos meteóricos

La comunicación por impulsos meteóricos es un tipo de transmisión inalámbrica basada en la reflexión de señales procedentes de meteoritos pequeños que entran en la atmósfera de la Tierra [Fig. 4]. Es precisamente gracias a los ángulos de incidencia de los meteoritos, que se pueden cubrir extensas regiones con un mínimo de instalaciones de infraestructura.



**Figura 2.7: Reflexión radioeléctrica por reflexión de estela de gas meteórica ionizada**

La mayor parte de las aplicaciones de la dispersión meteórica funcionan entre 30 y 50 MHz. En las frecuencias inferiores a 30 MHz, la absorción y el ruido, tanto galáctico

como artificial, aumentan de forma espectacular. Además, el tamaño y el costo de la antena es mayor en las frecuencias más bajas.

La capacidad de comunicación de datos disminuirá cuando se utilicen frecuencias por encima de 50 MHz, ya que la longitud del impulso medio disminuye a medida que aumenta la frecuencia. Análogamente, las frecuencias asignadas a la radiodifusión y televisión impiden el funcionamiento de los impulsos meteóricos por encima de 50 MHz. Utilizando estelas meteóricas, una estación de base por impulsos meteóricos puede comunicarse con estaciones distantes, ya sean móviles o fijas, situadas a distancias entre 500 y 1500 km..

Entre los usuarios actuales de la tecnología de impulsos meteóricos puede mencionarse el Centro Nacional de Recursos Hídricos y Clima de los Estados Unidos (NWCC), que es una dependencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. NWCC utiliza comunicaciones por impulsos meteóricos desde 1975, para recopilar datos sobre el clima y la capa de nieve, que se utilizarán en la predicción del abastecimiento de agua. La red de comunicaciones por impulsos meteóricos de NWCC, llamada SNOTEL, consta de más de 600 sitios en 11 estados de la parte oeste de los Estados Unidos, incluida Alaska. Los sitios no necesitan atención, están alimentados con energía solar y por su concepción necesitan mantenimiento sólo una vez por año, ya que muchos están situados en vertientes montañosas distantes, que son accesibles sólo a pie, por ski o helicóptero [8].

### **c) Sistemas combinados punto a multipunto/bucle local inalámbrico**

El uso de sistemas de radiocomunicaciones punto a punto o punto a multipunto basados en TDMA, con colas en el bucle local inalámbrico, es una tecnología recientemente utilizada en las zonas rurales. La sustitución de los cables de cobre por sistemas inalámbricos en el bucle local contribuye a reducir los costos de

mantenimiento asociados con las instalaciones físicas en las zonas rurales. En la actualidad se aplican sistemas punto a punto y punto a multipunto combinados con una de las dos tecnologías de bucle local inalámbrico, a saber, el sistema de teléfono portátil personal (Personal Handyphone System – PHS) y los teléfonos digitales mejorados sin cordón (Digital Enhanced Cordless Telephone – DECT). Estas tecnologías se han normalizado con carácter nacional o regional, en el primer caso, en el Japón, y en el segundo, en Europa.

#### **d) Punto a multipunto/bucle local inalámbrico PHS**

Es un sistema que permite una aplicación totalmente inalámbrica entre la central local y el teléfono del abonado, en distancias muy grandes. En sus inicios esta tecnología estuvo concebida para ofrecer servicios mejorados de telefonía inalámbrica con movilidad limitada en zonas urbanas y suburbanas. En el transcurso de los años, se ha puesto en práctica como una solución de bucle local inalámbrico fijo. Actualmente hay más de 20 países que han introducido los sistemas de bucle local inalámbrico PHS ofreciendo de este modo servicio a más de medio millón de teléfonos, lo que permite a más de 3 millones de personas disponer de servicios de telefonía, facsímile e Internet .

Las principales características de los sistemas punto a multipunto/bucle local inalámbrico PHS son las siguientes:

- Solución de acceso inalámbrico de extremo a extremo.

- Extensa área de servicio, hasta 540 Km. en una cadena de repetidores.
- Capacidad de sistema flexible, que puede expandirse hasta 1 400 abonados por estación de base.
- Servicio de alta calidad, con utilización de ADPCM de 32 Kbps.
- Resistencia frente a los desastres naturales.
- Costes de implementación y mantenimiento reducidos.
- Disponibilidad de células solares para repetidores (80 W) y estaciones de célula (40 W).

Un sistema punto a multipunto/bucle local inalámbrico PHS generalmente está conformado por estaciones base (BS), unidades repetidoras (RU), unidades de abonado (SU), estaciones de célula (CS), y terminales fijos de 2 conductores.

#### e) CDMA 450

CDMA en la banda de los 450MHz es una atractiva tecnología de telecomunicaciones en zonas rurales porque las señales son menos afectadas a la absorción de la lluvia, así mismo pueden rebotar en obstáculos que se encuentran entre el emisor y los múltiples receptores (localidades rurales) y posee mejores características de propagación que le permiten alcanzar mayores coberturas que aquellas que utilizan mayores frecuencias como las bandas de 800MHz y 900MHz utilizando para ello menos infraestructura (estaciones celulares base), lo que le permite menores costos de capital y operativos[7]. Además esta tecnología facilita la migración hacia la Tercera Generación de Móviles (3G) debido a que forma parte de la familia



CDMA2000 (700MHz, 800MHz, 900MHz, 1700MHz, 1800MHz, 1900MHz, 2100MHz) y es totalmente compatible con las actualizaciones futuras: Evolución Solo Datos (1X EV-DO) y Evolución Voz y Datos (1X EV-DV), permitiendo ofrecer una gama de aplicaciones similares a las ya ofrecidas en las otras bandas de frecuencias como el servicio Presione y Hable (PTT), el servicio de localización de personas, entre otros más[9].

CDMA en la banda de los 450MHz viene siendo utilizado como tecnología de acceso en algunas regiones de Europa Central y del Este, Asia, África y América del Sur , donde la infraestructura de telecomunicaciones es escasa o en algunos casos inexistente, además de poseer bajos porcentajes de pobladores con posesión de equipos telefónicos.

En América del Sur, el regulador brasileño ANATEL implementó un proyecto piloto en el año 2004 que emplea la plataforma CDMA2000 1x EV-DO en la banda de 450MHz para proveer voz y acceso a Internet a pobladores que no disponen de dichos servicios en las zonas marginales de la ciudad de Brasilia. El piloto consiste de un ómnibus apropiadamente acondicionado que emula a un tele-centro el cual se desplaza por las áreas donde no existe cobertura

Diagrama de una red CDMA

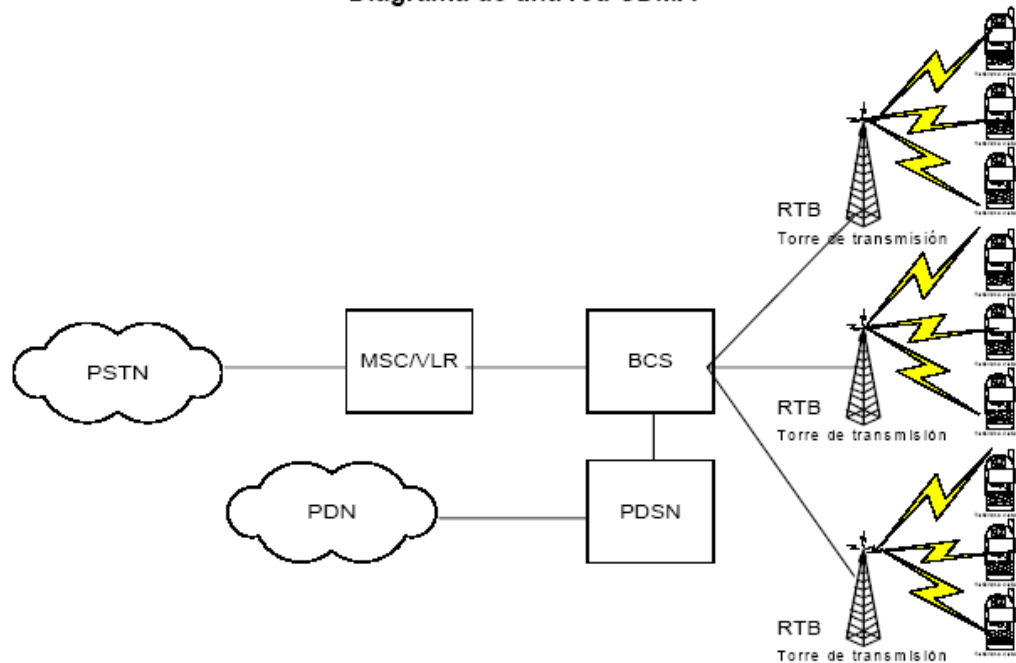


Figura 2.8: Diagrama de una red CDMA

#### f) Terminales de muy pequeña abertura (VSAT)

Los VSAT cumplen una función cada vez más importante en la prestación de servicios de telefonía, educación a distancia y comunicación de datos en las zonas distantes. Los VSAT son pequeñas estaciones terrenas de comunicación por satélite, que normalmente miden menos de 5 a 6 metros de diámetro [8]. Éstas pueden instalarse directamente en los locales del usuario, y no necesitan una atención particular. Debido a la disminución de los precios del equipo y la gran zona de cobertura que ofrecen los satélites de comunicaciones, se están instalando VSAT en zonas en que resulta poco rentable o en aquellas donde es difícil instalar infraestructuras de telecomunicación terrenales.

Un caso de aplicación de ésta tecnología es el proyecto de telefonía rural que se viene realizando en Perú a través del El fondo para la Inversión en Telecomunicaciones (FITEL). El objetivo del proyecto es el de ofrecer servicio de

telefonía pública con capacidad de voz y datos a baja velocidad (acceso a envío y recepción de correos electrónicos), de este modo los teléfonos públicos brindarán el acceso a llamadas locales (dentro del departamento), nacionales e internacionales a través de su interconexión con la red pública de telecomunicaciones[9].

## 2.5. Modelo Teórico

Las zonas rurales presentan serias dificultades de acceso a los medios de comunicación como consecuencia de las condiciones geográficas en las que se ubican y por las condiciones socioeconómicas de sus habitantes.

Si bien es cierto que las características de una zona rural están matizadas por factores distintos a los de una zona urbana, una red de comunicación rural no es más que una parte de la red nacional de comunicaciones.

Una red rural está formada por todas las instalaciones de transmisión y conmutación que han de utilizarse para prestar el servicio en dichas zonas, esto puede implicar en muchos casos la instalación de centrales del nivel de un centro primario. En este caso la red rural comprendería el centro primario y todos los circuitos asociados al mismo.

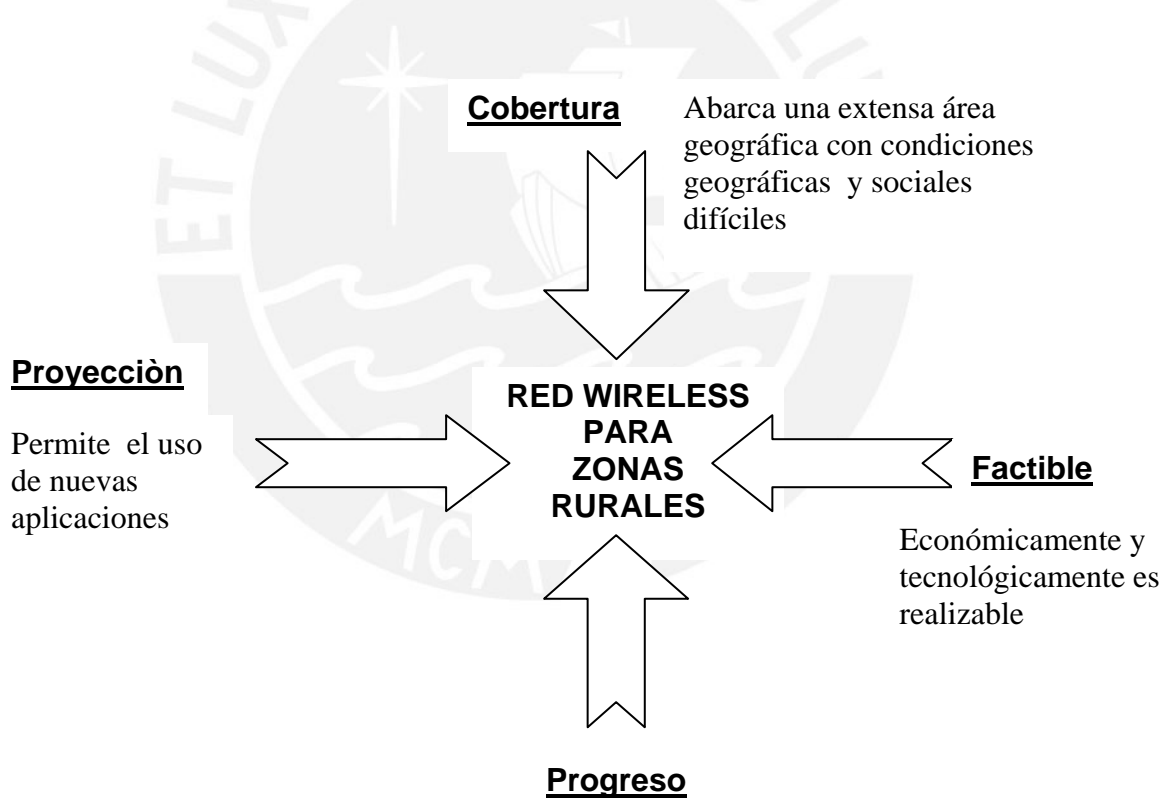
La elección del sistema de transmisión en los sectores rurales está influenciado por tres factores importantes: las condiciones geográficas, las condiciones socioeconómicas y los servicios o aplicaciones que serán cubiertas.

Estos factores imposibilitan el uso de líneas físicas como sistema de transmisión, viniendo a ser los sistemas de transmisión inalámbricos los indicados a cumplir este rol.

Servicios básicos de comunicaciones pueden ser cubiertos con sistemas de radiocomunicaciones en ondas métricas y decimétricas y sistemas de comunicación por impulsos meteóricos.

Sistemas VSAT y sistemas CDMA 450 posibilitan el uso de nuevas aplicaciones en dichos entornos, las cuales favorecen sustancialmente las condiciones de vida de sus habitantes.

**2.5.1. Representación gráfica del marco teórico**



Mejora las condiciones de vida de la población:  
Educación, Salud, Seguridad, Comercio

### **Capítulo 3. Datos para el análisis de la red inalámbrica en el distrito de Ahuac**

#### **3.1 Hipótesis**

##### **3.1.1 Hipótesis Principal**

Dada la ausencia de redes de acceso a los sistemas de comunicaciones en el distrito de Ahuac, provincia Chupaca, departamento Junín, debido a factores geográficos y socio-económicos y a la dificultad de utilizar tecnología convencional, las condiciones de vida actuales de los habitantes de dicha zona son desfavorables. Entonces el diseño de una red de acceso basada en tecnología inalámbrica capaz de ofrecer una amplia área de cobertura bajo condiciones geográficas y climáticas difíciles, permitiendo proporcionar aplicaciones de tipo multimedia, constituye un medio para mejorar las condiciones generales de vida del distrito.

##### **3.1.2. Hipótesis Secundarias**

1) Las condiciones geográficas y climáticas, así como las condiciones sociales y económicas son factores que han dificultado el desarrollo de una red de comunicaciones con tecnología convencional en el Distrito de Ahuac.

- 2) El estudio de nuevas tecnologías de acceso inalámbricas posibilita el diseño de nuevas redes de comunicaciones para zonas rurales.
- 3) La utilización de tecnología inalámbrica CDMA 450 Mhz permite implementar redes de comunicaciones en zonas rurales con nuevas y mejores aplicaciones.
- 4) El diseño de una red de comunicaciones inalámbrica involucra parámetros de radio de cobertura, calidad de la señal y tráfico de la red.
- 5) La utilización de los diversos servicios que se desprenden de una red de comunicaciones mejora notoriamente las condiciones de vida de los habitantes.

### **3.2. Objetivos**

#### **3.2.1. Objetivo Principal**

Diseñar una red de acceso inalámbrica utilizando tecnología CDMA 450 Mhz para el distrito de Ahuac, provincia de Chupaca , departamento de Junín.

#### **3.2.2. Objetivos Específicos**

- 1) Diseñar una red de acceso inalámbrica que permita solucionar las limitaciones de acceso a los sistemas de comunicaciones originadas por las condiciones geográficas y climáticas del distrito de Ahuac.

2) Ofrecer un diseño de red de acceso que permita la aplicación de nuevos servicios de comunicaciones, logrando de este modo reducir la brecha presente entre los entornos urbanos y rurales.

3) Diseñar una red que solucione los parámetros de tráfico de red, calidad de la señal y área de cobertura.

4) Diseñar una red económicamente sostenible entre los usuarios y la empresa operadora.

### 3.3. Metodología de la investigación

#### 3.3.1. Universo y Muestra

El universo está formado por los habitantes de los centros poblados que conforman el distrito de Ahuac. El distrito de Ahuac presenta 25 centros poblados con la siguiente distribución poblacional [1]

**Tabla 3.1: Distribución poblacional del distrito de Ahuac**

Nombre	Área	Categoría	Viviendas
AHUAC	URBANO	PUEBLO	895
TACANA	RURAL	OTROS	35
COPCA	RURAL	ANEXO	65
ISCOHUATIANA (SANTA CRUZ DE IOCOTIANA)	RURAL	ANEXO	15
ANTACUSI	RURAL	ANEXO	53
HUARISCA	RURAL	ANEXO	180
AUYAN	RURAL	OTROS	18
AMARU CANCHA	RURAL	OTROS	22
CAPILLAYO	RURAL	OTROS	7
SALPALACHI	RURAL	OTROS	8
HIULLACA (LA UNION)	RURAL	OTROS	50
COCHANGARA	RURAL	ANEXO	115
LA TOMA	RURAL	BARRIO O CUARTEL	30
ANTUYOC	RURAL	ANEXO	25
CUSHIPAMPA	RURAL	OTROS	2



ANDAMARCA	RURAL	ANEXO	80
MINANYA	RURAL	ANEXO	65
SAN JUAN PAMPA	RURAL	OTROS	10
DOS DE MAYO	RURAL	OTROS	10
INCA PILATANA	RURAL	OTROS	7
ANTA (BOLIVAR)	RURAL	BARRIO O CUARTEL	70
-AHUIMPUQUIO	RURAL	ANEXO	125
SEGUNDO CUARTEL	RURAL	OTROS	10
ALANYA	RURAL	OTROS	125
MATAPUQUIO	RURAL	ANEXO	47

### 3.4. Procedimiento e instrumentos de análisis

Debido a la utilización de tecnología inalámbrica, con reciente aplicación en sistemas rurales, es necesario dividir el diseño de la red de comunicaciones en diferentes etapas, las cuales permitan una mayor capacidad de análisis de los parámetros involucrados.

#### a) Estudio del Mercado

- Recojo de información socio-económica de la población.
- Recojo de información acerca de la red actual (radio de cobertura, tipo de servicios, nivel de tráfico).
- Análisis de la información socio-económica.
- Análisis de la información de la red actual.

#### b) Estudio de las condiciones geográficas

- Análisis de la ubicación geográfica de los centros poblados.
- Análisis de los accidentes geográficos.
- Análisis del clima.

### c) Estudio de la tecnología

- Estudio de las tecnologías de acceso.
- Estudio de las tecnologías de acceso inalámbricas.
- Estudio de las tecnologías de acceso inalámbricas bajo las condiciones geográficas establecidas y de acuerdo a los servicios requeridos.

### d) Diseño de la red

- Implica el diseño de la red propiamente dicha bajo la tecnología seleccionada, lo cual comprende cálculos de radio de cobertura, calidad de la señal, tráfico de la red, ubicación de equipos, simulaciones, análisis de resultados.

## 3.5. Definiciones Operativas

### 3.5.1. Indicadores Cuantitativos

Estas variables permiten asignar un valor numérico determinado a las características principales del sistema. Entre las variables cuantitativas tenemos:

#### a) Rango de Potencia de Transmisión

Parámetro que indica los niveles máximos y mínimos de potencia que emite el transmisor. Está expresado en dBm.

#### b) Rango de Potencia de Recepción

Parámetro que indica los niveles máximos y mínimos de potencia que recibe el receptor. Está expresado en dBm.

### **c) Relación señal a ruido**

Indica la relación entre la magnitud de la señal de información y la magnitud de ruido de fondo. Está expresado en dB.

### **d) Costo**

Indica la cantidad de dinero invertido en la realización del sistema.

## **3.5.2. Indicadores Cualitativos**

Parámetros que permiten analizar y comparar características no cuantificables como consecuencia directa e indirecta de la utilización del sistema.

El indicador más relevante es:

### **a) Grado de Bienestar**

Parámetro que indica el grado de bienestar y satisfacción de la población en diferentes campos:

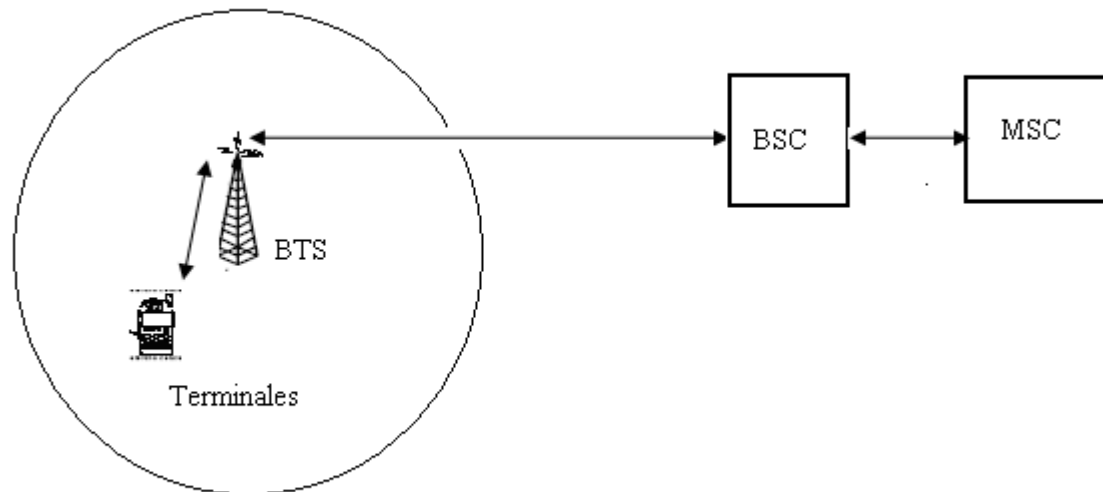
- Educación
- Salud

- Información
- Seguridad

### 3.6. Propuesta del diseño de la Red

Con el fin de atender la demanda del servicio de telecomunicaciones de los pobladores del distrito de Ahuac, se plantea el diseño de una red de acceso inalámbrica con tecnología CDMA en la banda de 450 Mhz, tal como se muestra en el siguiente diagrama.

**Figura 3.1: Diagrama de la propuesta de diseño de la Red de Acceso**



Zona Cobertura: Distrito Ahuac

La red de acceso estará conformada por los siguientes sistemas:

#### a) Equipos terminales

Son los equipos que suministran el servicio de comunicaciones a los usuarios del distrito de Ahuac en el lugar, instante y formato adecuados. Cada equipo terminal actuará en modo emisor y receptor.

#### b) BTS (Base Transceiver Station)

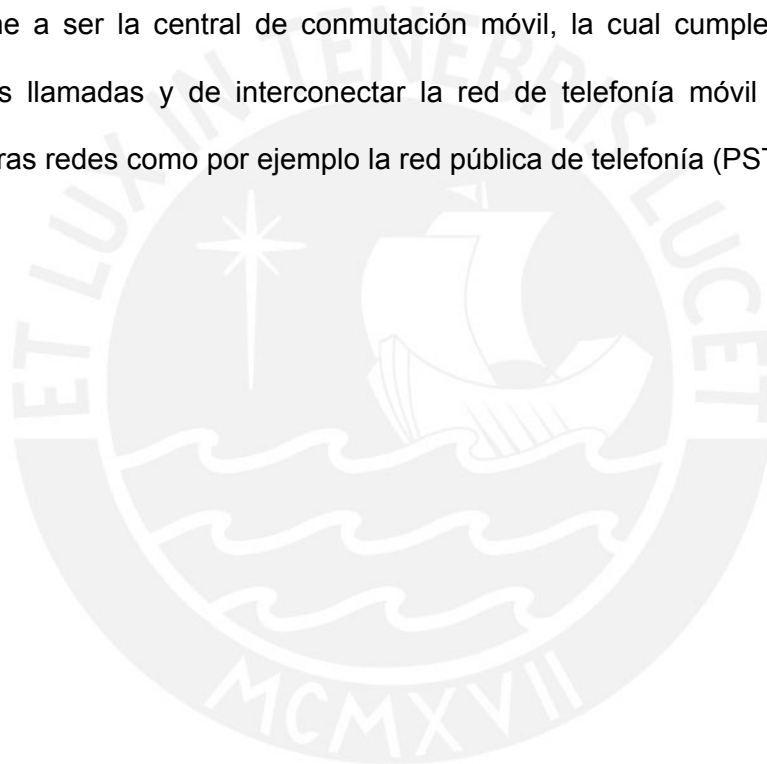
Equipo de telecomunicaciones ubicado en el distrito de Ahuac encargado de emitir y recibir las señales desde y hacia los terminales. Debido a la extensión geográfica del distrito de Ahuac es probable el uso de tan sólo una estación base.

**c) BSC (Base Station Controller)**

Equipo de telecomunicaciones encargado de agrupar si es el caso y de controlar la estación base (BTS) ubicada en el distrito de Ahuac, del mismo modo cumple las funciones de interfase entre la BTS y la central de conmutación (MSC).

**d) MSC (Mobile Switching Center)**

La MSC viene a ser la central de conmutación móvil, la cual cumple la función de establecer las llamadas y de interconectar la red de telefonía móvil del distrito de Ahuac con otras redes como por ejemplo la red pública de telefonía (PSTN).





## **Capítulo 4. Diseño de la red de acceso inalámbrica con tecnología CDMA 450**

### **Mhz para el distrito de Ahuac**

#### **4.1. Diseño de la Red**

El diseño técnico de la red de acceso inalámbrica está constituido por los cálculos referentes a las pérdidas de propagación de la señal, al radio de cobertura de la BTS, al tráfico esperado y al enlace entre la BTS y la MSC

##### **4.1.1. Cobertura del área de atención**

Un dato importante en un sistema de comunicación móvil viene a ser la máxima distancia a la cual se tiene un nivel aceptable de señal, como es sabido, la señal emitida en el espacio libre a través de su recorrido es afectada por diferentes factores como son la pérdida en el espacio libre, pérdida por multitrayectoria, por reflexión, refracción y difracción, así como por efectos climáticos.

Existen diversos métodos para calcular el radio de cobertura de una señal RF para ambientes abiertos, los cuales pueden ser clasificados en métodos empíricos (Lee, Okumura, Hata, Longley-Rice), semi empíricos (BBC y Walfish Ikegami), y determinísticos (Trazado de rayos)

Las variables a tomar en cuenta para utilizar la fórmula de Hata vienen a ser: frecuencia, distancia aproximada entre emisor y receptor, altura de la estación base y altura de la estación móvil.

Cabe señalar que el método considera factores de corrección para diferentes tipos de terreno.

Dado que el área total del Distrito de Ahuac es de 72.04 Km<sup>2</sup> podemos asumir una distancia máxima de 5 Km entre el emisor y receptor.

**Datos para el cálculo:**

Frecuencia = 450 Mhz

Distancia (d) = 5 Km.

Altura estación base (h1) = 30 mts

Altura estación móvil (h2) = 1.7 mts

Zona = Rural

Aplicando la Fórmula de Hata [10] :

$$L_o = L_u - 4.78 \times [\log(f)]^2 + 18.33\log(f) - 40.94$$

$$L_u = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(h_1) - a(h_2) + [44.9 - 6.55\log(h_1)] \times \log(d)$$

$$a(h_2) = (1.1\log(f) - 0.7) \times h_2 - (1.56\log(f) - 0.8)$$

Tenemos que:

$$L_u = 142.73 \text{ dB.}$$

$$L_o = 116.77 \text{ dB.}$$

#### 4.1.2. Cálculo del Link Budget

El cálculo del Link Budget [10], nos permite calcular de manera aproximada el radio de cobertura que una estación base puede tener bajo ciertos factores, así mismo podemos utilizar éste método para calcular el número total de celdas, que permitan lograr la cobertura en una determinada área geográfica.

Datos para el cálculo:

Zona: Distrito Ahuac (Rural )

Frecuencia(f): 450 Mhz

Altura BTS (h1): 30 mts.

Altura estación móvil (h2): 1.7 mts

Ganancia antena BTS (Gbts): 14 dBi

Ganancia antena estación móvil (Gem): 0 dBi

Potencia de transmisión BTS (Pbts): 20 W

Potencia de transmisión estación móvil (Pem): 1 W

Pérdidas adicionales (edificaciones, vegetación)(La): 24 dB

Pérdidas cables estación base (Lc): 3.5 dB

Sensibilidad estación base (Sbts): -110 dBm

Sensibilidad estación móvil (Sem): - 92 dBm

#### a) Cálculo de Lo

$$Lo = Lu - 4.78 \times [\log(f)]^2 + 18.33\log(f) - 40.94$$

$$Lu = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(h1) - a(h2) + [44.9 - 6.55\log(h1)] \times \log(d)$$

$$a(h2) = (1.1\log(f) - 0.7) \times h2 - (1.56\log(f) - 0.8)$$

Reemplazando los datos obtenemos que:

$$a(h2) = 0.43$$

$$Lu = 118.112 + 35.225 \times \log(R)$$

$$Lo = 92.156 + 32.225 \times \log(R)$$

#### b) Cálculo del link budget ascendente

Aplicando la Fórmula:

$$\text{Link Budget ascendente} = P_{em} + G_{em} - L_a - L_u + G_{bts} - L_c - S_{bts}$$

Reemplazando los diferentes valores tenemos:

$$\text{Link Budget ascendente} = 30 \text{ dBm} + 0 \text{ dB} - 24 \text{ dB} - L_o + 14 \text{ dBi} - 3.4 + 110$$

$$\text{Link Budget ascendente} = 126.6 - L_o$$

Para calcular el radio procedemos a igualar el link budget a cero:

$$\text{Link Budget ascendete} = 0$$

Entonces:

$$92.156 + 32.225 \times \log(R) = 126.6$$

De lo cual tenemos que  $R = 9.502 \text{ km}$

### c) Cálculo del link budget descendente

Como el caso anterior, aplicamos la fórmula:

$$\text{Link Budget descendente} = P_{bts} + G_{bts} - L_a - L_o + G_{em} - L_c - S_{em}$$

Reemplazando los diferentes valores tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Link Budget descendente} &= 43.010 \text{ dBm} + 14 \text{ dBi} - 24 \text{ dB} - L_o + 0 \text{ dBi} - 3.4 + \\ &+ 92 \end{aligned}$$

$$\text{Link Budget descendente} = 121.6 - L_o$$

Para calcular el radio procedemos a igualar el link budget a cero:

$$\text{Link Budget descendete} = 0$$

Entonces:

$$92.156 + 32.225 \times \log(R) = 121.6$$

De lo cual tenemos que  $R = 6.858 \text{ km}$

#### 4.1.3. Cálculo del Radio de Cobertura

Dado que ya poseemos los radios para ambos casos de link budget, procedemos a calcular el radio aproximado de cobertura para la estación base [10], bajo las condiciones dadas.

Radio link budget ascendente ( $R_{lua}$ )= 9.502 Km

Radio link budget descendente ( $R_{lud}$ ) = 6.858 Km

Tomando en cuenta para el diseño del radio de cobertura el radio link de menor valor tenemos que el área de cobertura circular es equivalente a:

Radio Circunferencia = 6.858 Km

Área Cobertura Celda Circular = 147.68 Km<sup>2</sup>

Dado que el área del distrito de Ahuac es de 72.04 Km<sup>2</sup> podemos concluir que la cobertura de la estación base está garantizada.





**Figura 4.1: Radio de Cobertura de la BTS ubicada en el distrito de Ahuac mediante software RadioMobile**

#### 4.1.4. Cálculo del número de canales

Debido a que el tráfico de una red de comunicaciones está condicionado por diversos factores, el cálculo de tráfico para un sistema celular sólo se podrá predecir con un grado limitado de exactitud.

Un sistema de comunicaciones deber proveer un alto grado de rendimiento; desde del punto de vista del usuario, sus demandas de comunicaciones deben ser satisfechas con poco o ningún tipo de retraso, y en el caso de los operadores, los equipos a utilizar deben ser seleccionados para garantizar la calidad del servicio pero sin sobredimensionar las necesidades, de tal modo que se evite el incremento innecesario de los costos.

El tráfico en una red móvil está sujeto a diversas condiciones, entre las más importantes podemos mencionar: el número de usuarios, el grado de servicio, el tiempo de duración de la llamada.

Existen diversos métodos para calcular el tráfico probable para una red de comunicaciones, como es el caso del método de matrices, sin embargo para la red inalámbrica del Distrito de Ahuac utilizaremos un método más simple, el cual permite calcular de manera muy práctica el tráfico de la red en el caso más exigente.

Para poder realizar el cálculo respectivo se hará necesario algunas suposiciones acerca de la cantidad de abonados de la red, así como del tiempo de servicio de la misma.

Teniendo en cuenta que la población del distrito de Ahuac es de 8339 habitantes, de los cuales 4500 habitantes forman parte de la población económica activa [1], podemos suponer una cantidad de 600 usuarios aproximadamente.

Un tiempo promedio de llamada es de 108 segundos [10] y suponiendo que del número total de abonados, el 30% solicitan el servicio en la hora pico [11], nuestros datos para el análisis serían:

Datos Hora pico:

Usuarios ( $Q_i$ ) = 180

Tiempo llamada ( $T_p$ ) = 108 segundos

Con estos datos podemos obtener el flujo de llamadas en hora pico, el número de erlangs y el número de canales

Donde:

$$\text{Número de Erlangs (E)} = Q_i \times T_p / 3600$$

Reemplazando los valores tenemos que:

$$E = 5.4 \text{ Erlangs}$$

Utilizando un factor de bloqueo de 2 % [11], mediante la tabla Erlang B podemos obtener el número de canales:

$$\text{Número de canales} = 11$$

Para este número de canales, una sola línea E1 permite soportar el tráfico asignado.

#### **4.1.5. Cálculo del enlace entre la Estación Base y la Central de conmutación**

Debido a que es necesario interconectar la estación base (BTS) ubicada en el distrito de Ahuac con una Central de Conmutación (MSC) la cual permita establecer las comunicaciones, se presentan a continuación tres opciones de enlace para esta interconexión.

En la primera se establece la ubicación de la central de conmutación (MSC) en la provincia de Chupaca, por ser una zona cercana y segura para ello; así mismo, proporciona la interconexión con la red pública de comunicaciones ya que en Chupaca se encuentra una central local de Telefónica del Perú.

Las dos siguientes opciones utilizan la red existente de la empresa operadora Valtron la cual ofrece una red de telecomunicaciones en la frecuencia de 450 Mhz. En este caso la central de conmutación se encuentra ubicada en el distrito de Callahuanca, provincia de Huarochirí.

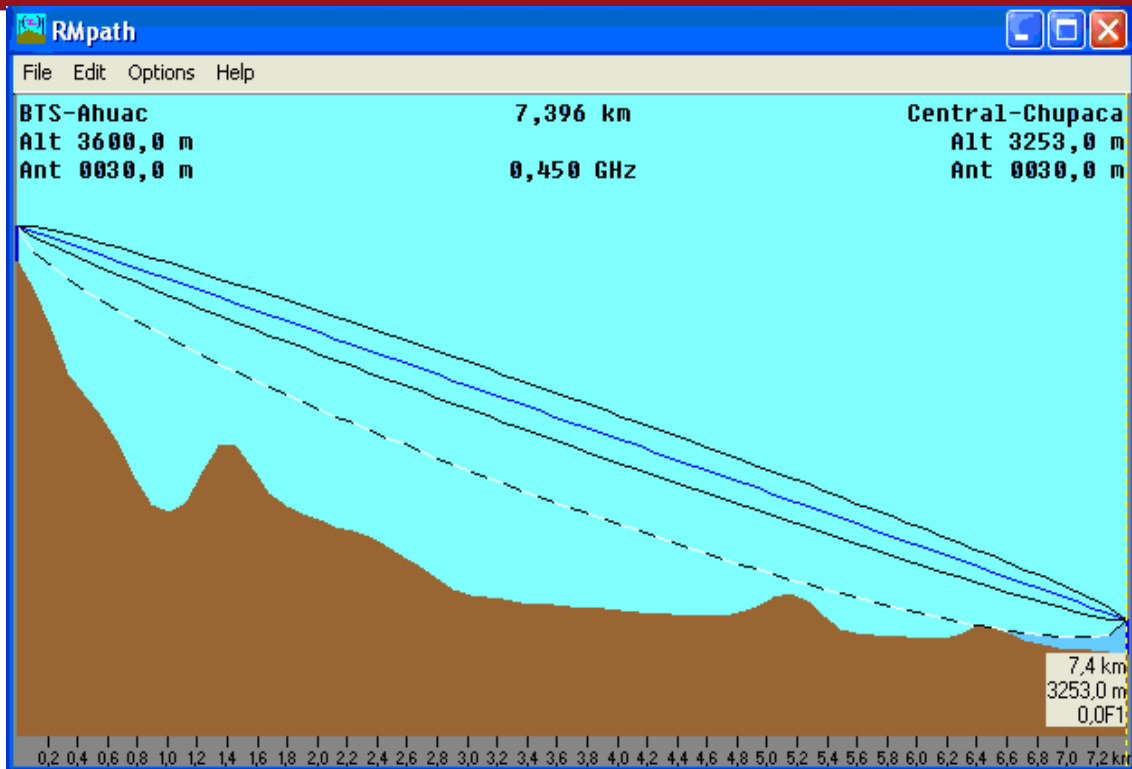
#### 4.1.5.1. Central de Conmutación ubicada en Chupaca

Como se mencionó anteriormente, en esta opción la ubicación de la central de conmutación se encuentra en la provincia de Chupaca, la cual se encuentra a una distancia de 7.39 Km de la estación base. Para lograr el enlace entre la BTS y la MSC es necesario utilizar un enlace microondas por lo que es preciso verificar la presencia de línea de vista entre las dos estaciones.

Con el fin de determinar la presencia o no de línea de vista entre los dos puntos antes mencionados utilizamos el software RadioMobile.

##### a) Línea de enlace entre BTS (Ahuac) Y MSC (Chupaca)

En la siguiente figura [Fig. 4.2] podemos observar la ubicación aproximada de la BTS (Ahuac) y de la MSC (Chupaca), así como la línea de enlace entre ellas, pudiendo observar la presencia de línea de vista entre los puntos.



**Figura 4.2: Línea de vista entre la BTS (Ahuac) y MSC (Chupaca) mediante software RadioMobile**

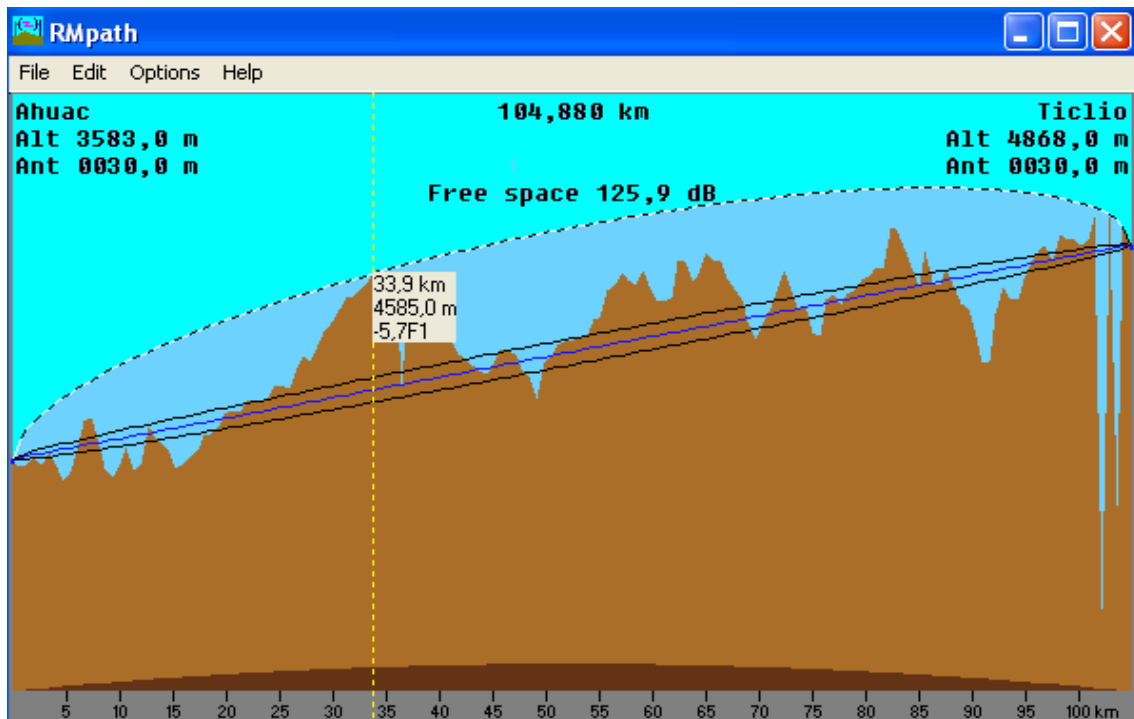
Dado que existe visibilidad limpia entre los 2 puntos de comunicación se hace innecesaria la presencia de una repetidora.

#### 4.1.5.2. Central de Conmutación ubicada en el distrito de Callahuanca

Para lograr la interconexión de la estación base de Ahuac con la central de conmutación de la empresa operadora Valtron, tenemos dos opciones. En la primera no es necesario lograr el enlace hasta el distrito de Callahuanca, debido a que la red de telecomunicaciones de Valtron posee una estación base en el poblado de Ticlio con lo cual interconectar estos puntos (Ahuac y Ticlio) es suficiente para lograr la interconexión entre la estación base y la central de conmutación. En la segunda opción utilizamos para el enlace un sistema VSAT por lo cual la ubicación de la central de conmutación está ubicada en el mismo distrito de Callahuanca.

### a) Línea de enlace entre BTS (Ahuac) y Estación base (Ticlio)

La siguiente figura muestra el enlace entre la BTS ubicada en el distrito de Ahuac y la estación base de Ticlio, en ella podemos observar la ausencia de línea de vista entre los dos puntos de conexión, por lo cual es necesario la utilización de estaciones repetidoras.



**Figura 4.3: Línea de enlace entre la BTS (Ahuac) y la Estación Base (Ticlio) mediante software RadioMobile**

Como se mencionó anteriormente, se hace necesario la utilización de estaciones repetidoras para lograr la interconexión entre la BTS (Ahuac) y la estación base (Ticlio).

A continuación se muestran los diferentes enlaces entre las estaciones repetidoras con el fin de lograr el enlace deseado.



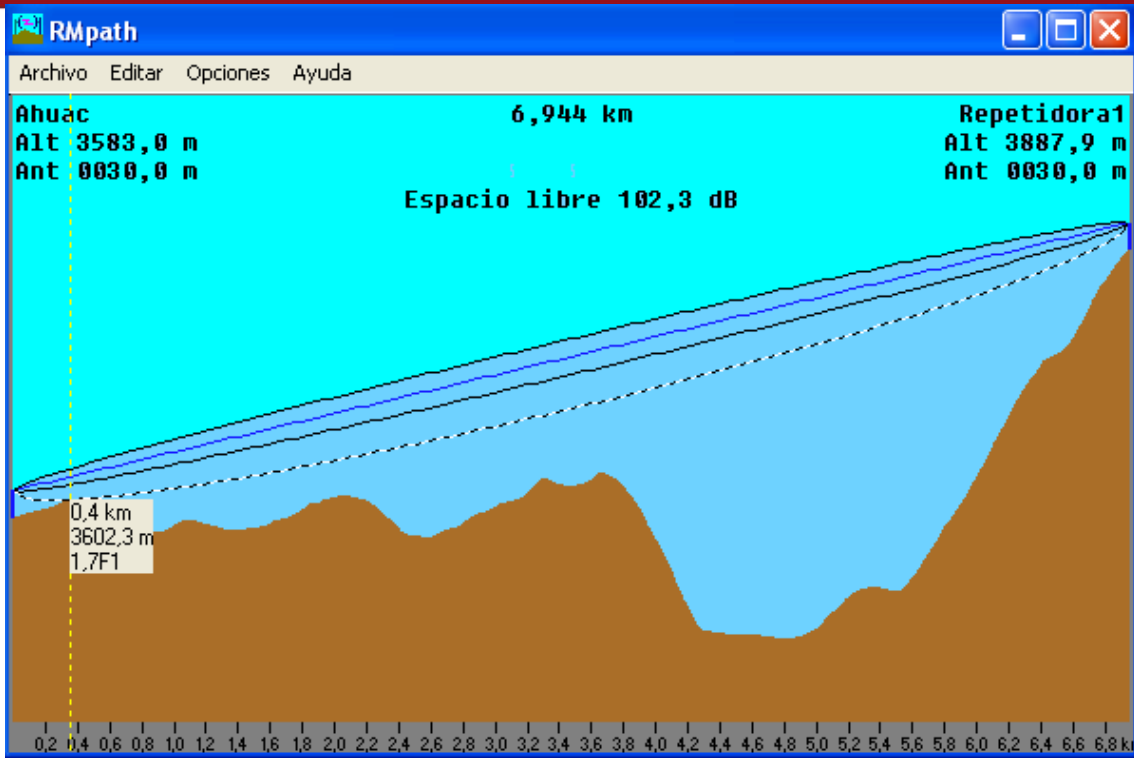


Figura 4.4: Línea de enlace entre la BTS (Ahuac) y la Repetidora 1 (Ticlio) mediante software RadioMobile

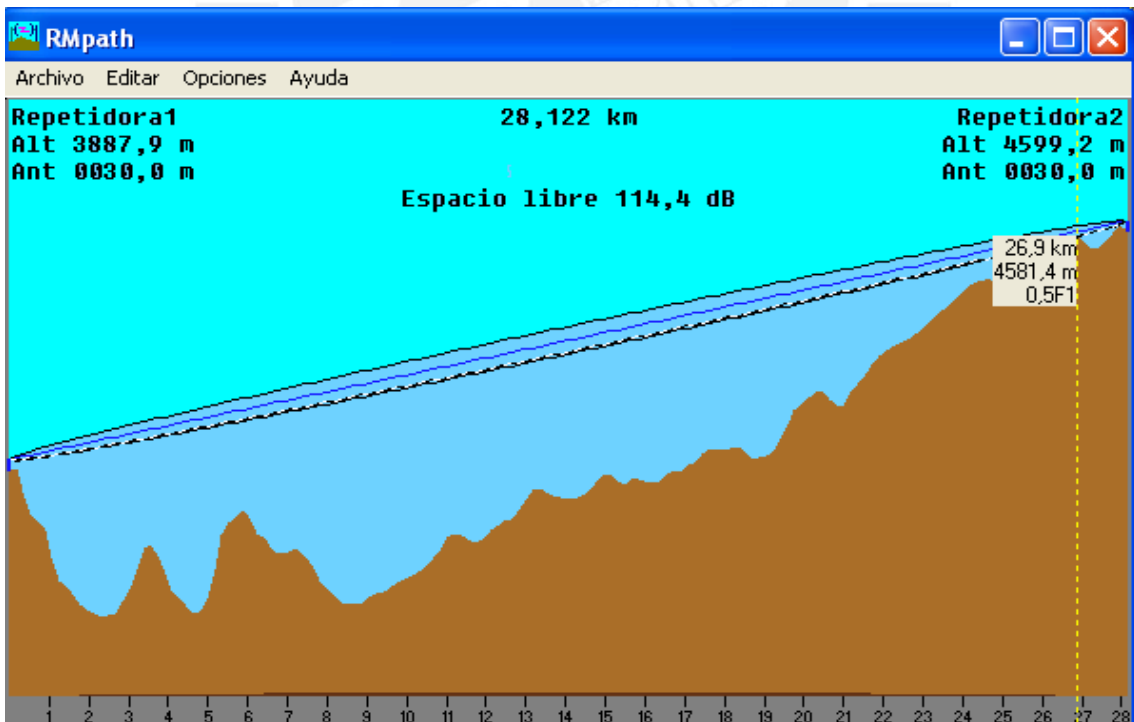


Figura 4.5: Línea de enlace entre la Repetidora 1 y la Repetidora 2 mediante software RadioMobile

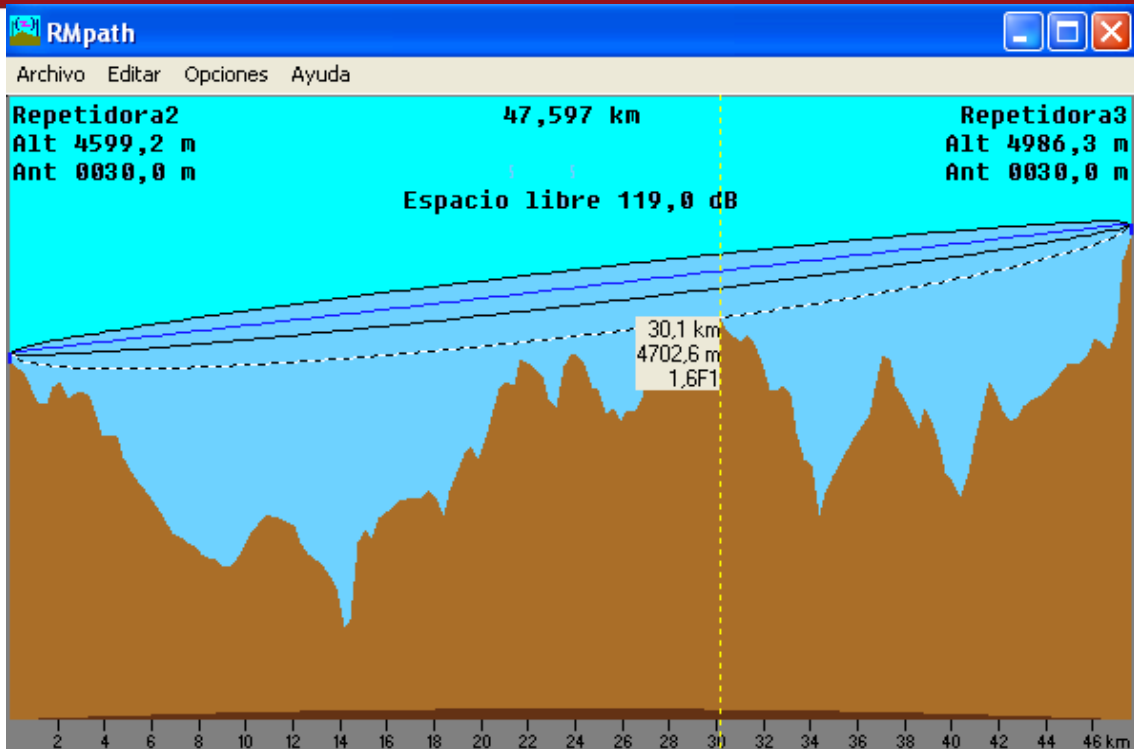
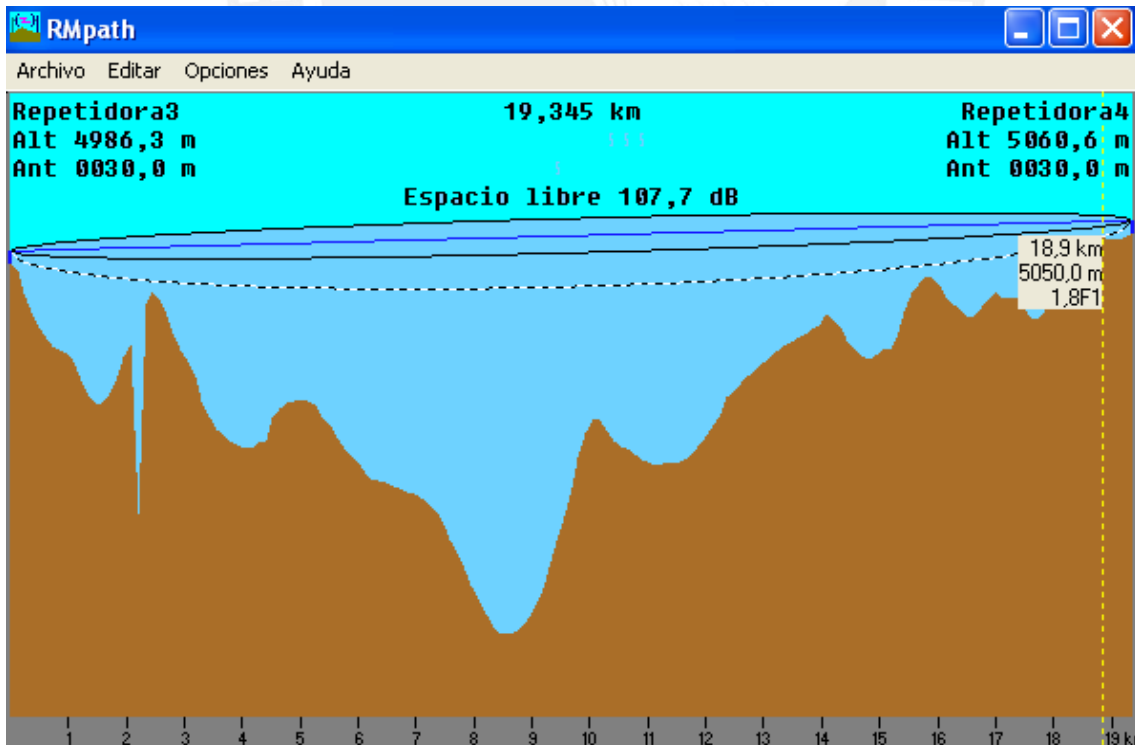


Figura 4.7: Línea de enlace entre la Repetidora 3 y la Repetidora 4 mediante software RadioMobile



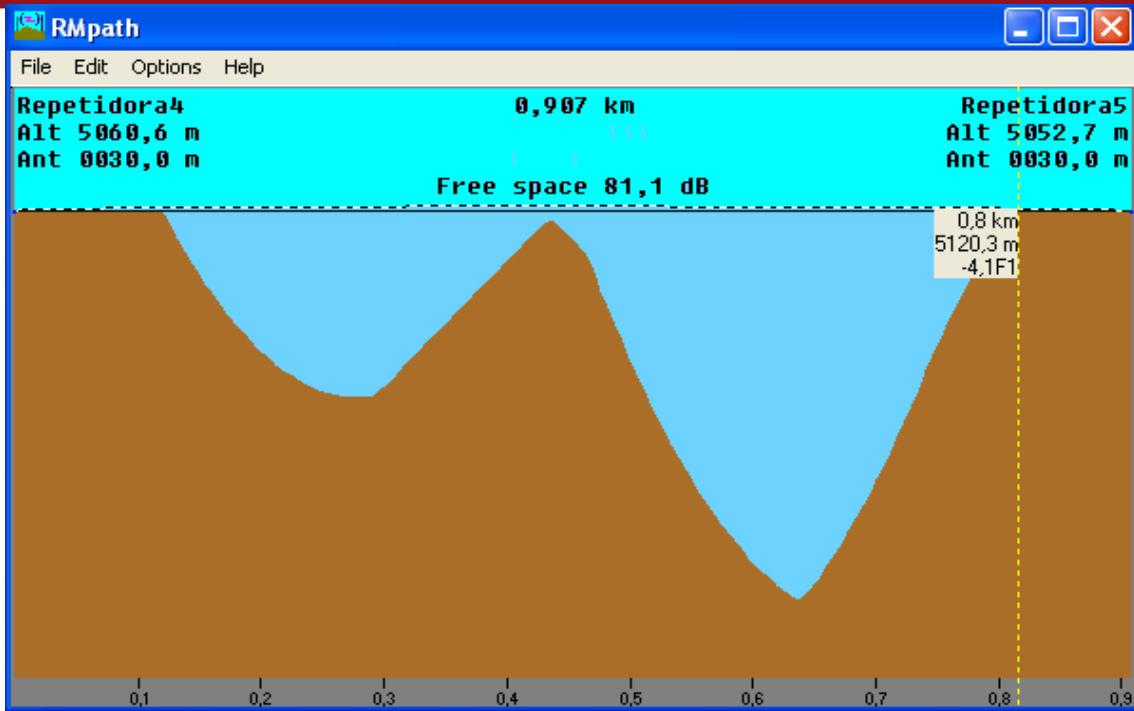


Figura 4.8: Línea de enlace entre la Repetidora 4 y la Repetidora 5 mediante software RadioMobile

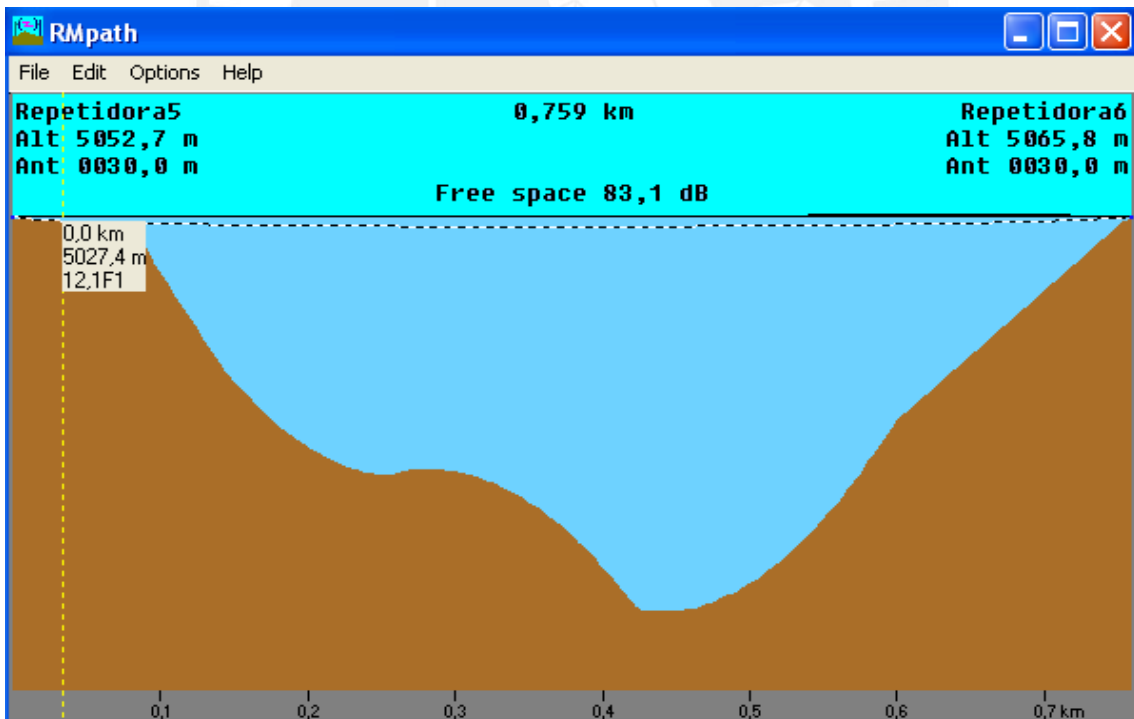


Figura 4.9: Línea de enlace entre la Repetidora 5 y la Repetidora 6 mediante software RadioMobile

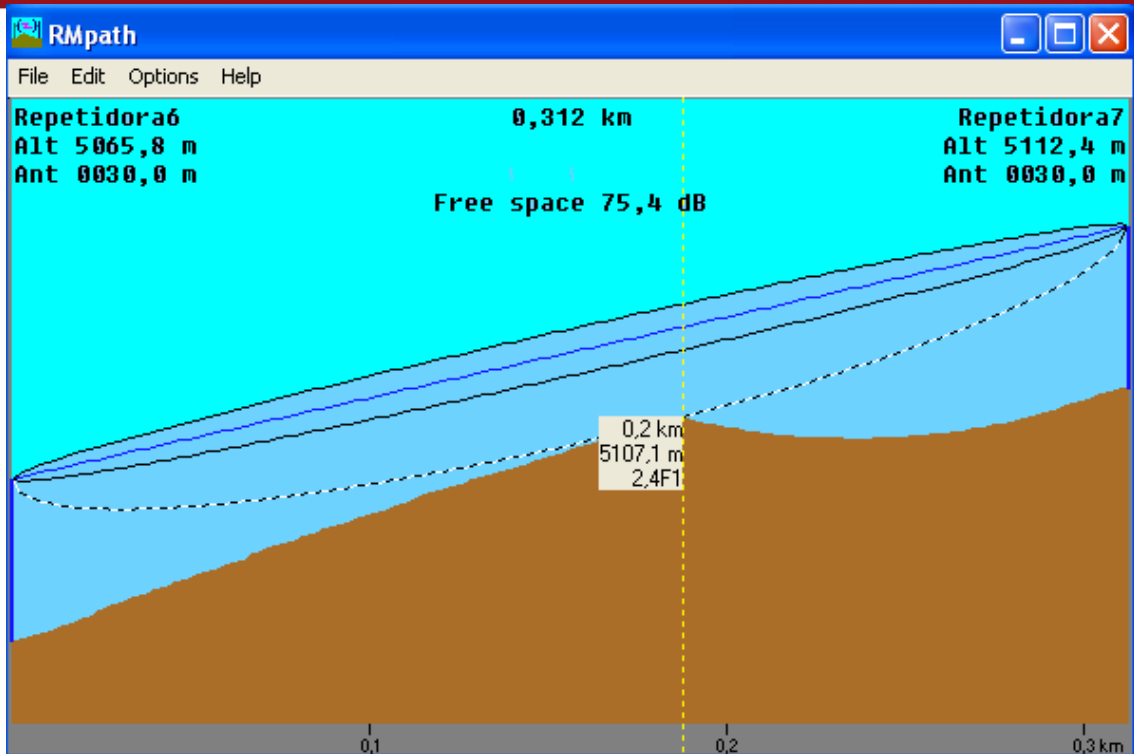


Figura 4.10: Línea de enlace entre la Repetidora 6 y la Repetidora 7 mediante software RadioMobile

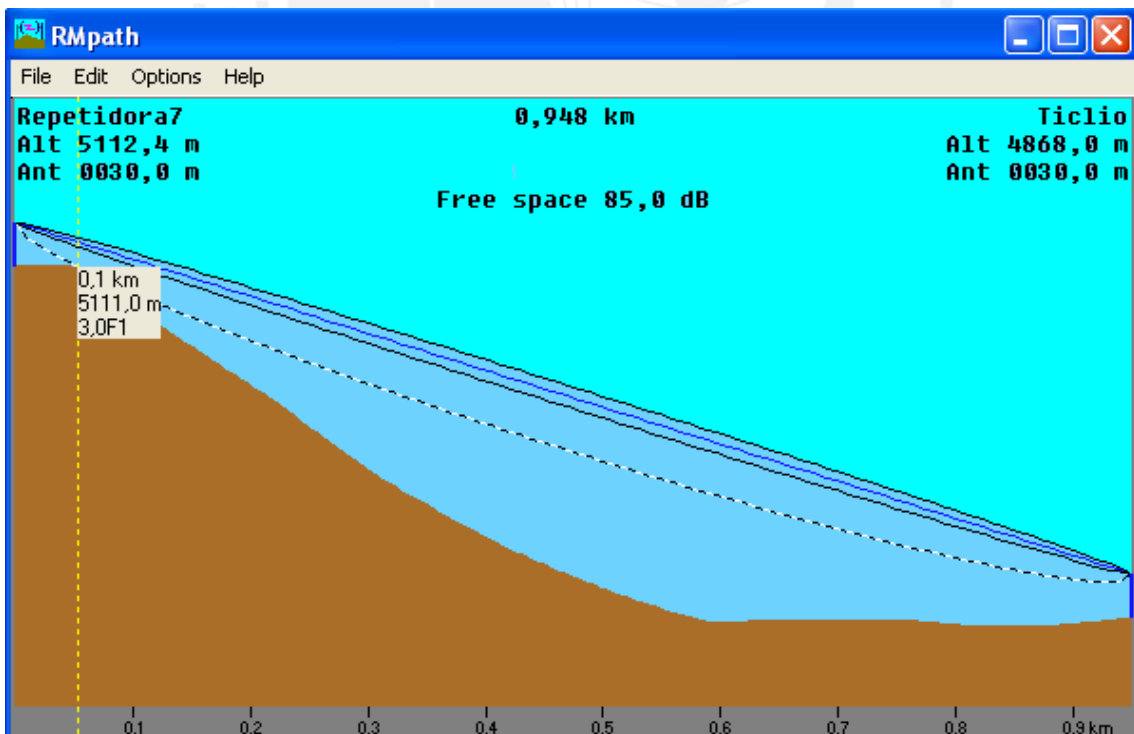


Figura 4.11: Línea de enlace entre la Repetidora 7 y la Estación Base (Ticlio) mediante software RadioMobile

### b) Enlace VSAT entre la BTS (Ahuac) y la Central de Conmutación (Callahuanca)

Esta viene a ser la tercera opción para lograr la interconexión entre la estación base ubicada en Ahuac y la central de conmutación ubicada en el distrito de Callahuanca. En este caso utilizaremos un enlace VSAT con el fin de unir los puntos mencionados anteriormente.

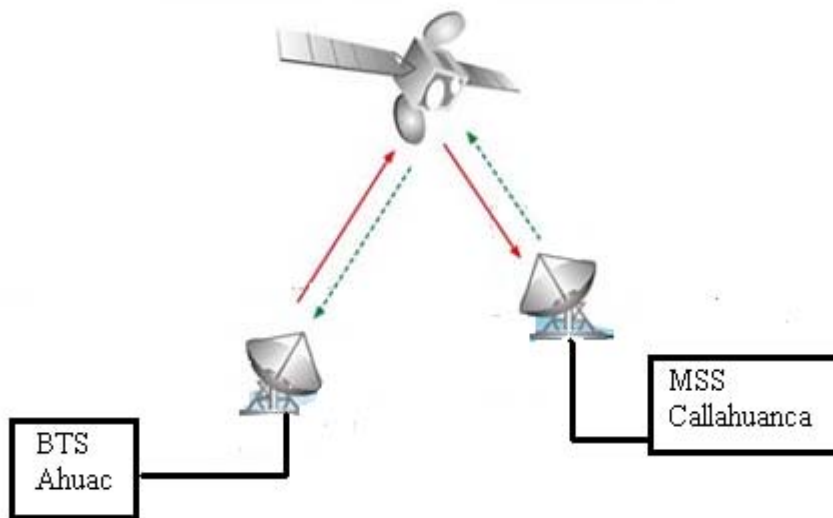


Figura 4.12: Enlace VSAT entre la BTS (Ahuac) y la central de conmutación (Callahuanca)

#### 4.1.6. Evaluación del enlace más adecuado

Debido a la importancia del factor económico en la realización de los proyectos, evaluaremos cuál de las tres opciones de enlace entre la estación base y la central de conmutación es la más factible económicamente.

Para realizar este análisis abarcaremos el costo del equipamiento principal en cada uno de las opciones mencionadas:

##### a) Central de Conmutación ubicada en Chupaca

Para establecer una red de acceso con la estación base (BTS) ubicada en Ahuac y la central de conmutación en Chupaca, se hace necesario los principales equipos de telecomunicaciones:

Equipo	Precio (\$)
1 mBTS ZXC10 ZTE	27000
1 BSC ZXC10 ZTE	70000
1 MSS ZXC10 ZTE	130000
Enlace microondas	7500
Total	234500

**Tabla 4.1: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso con la central de conmutación ubicada en Chupaca.**

**b) Central de Conmutación ubicada en Callahuanca utilizando la estación base de Ticlio**

En este caso necesitamos establecer la comunicación entre la estación base de Ahuac y la estación base de Ticlio, utilizando estaciones repetidoras que requieren los siguientes equipos de telecomunicaciones.

<b>Equipo</b>	<b>Precio (\$)</b>
1 mBTS ZXC10 ZTE	27000
8 Enlaces microondas	60000
Tarjeta de abonados	5000
Tarjeta de control de celda	5000
Sistema Prepago	5000
<b>Total</b>	<b>102000</b>

**Tabla 4.2: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso utilizando la estación base de Ticlio**

**c) Central de Conmutación ubicada en Callahuanca utilizando enlace VSAT**

Para lograr el enlace entre la estación base Ahuac y la central de conmutación Callahuanca utilizaremos un enlace VSAT entre dichos puntos.

Los principales equipos de telecomunicaciones a utilizar vienen a ser los siguientes:

<b>Equipo</b>	<b>Precio (\$)</b>
1 mBTS ZXC10 ZTE	27000
1 Enlace VSAT	4416
Tarjeta de abonados	5000
Tarjeta de control de celda	5000
Sistema Prepago	5000
<b>Total</b>	<b>46416</b>

**Tabla 4.3: Equipos de telecomunicaciones de la red de acceso utilizando un enlace VSAT con la central de Callahuanca**



Como podemos ver de los cálculos mostrados, la red de acceso con la central de conmutación ubicada en Callahuanca utilizando enlace VSAT, es el sistema más económico y factible. Por lo tanto la infraestructura a utilizar estará referenciada a dicho sistema.

## **4.2. Infraestructura**

La implementación de la red de acceso está basada en la utilización de equipos de telecomunicaciones así como de la infraestructura pertinente para el adecuado uso de éstos.

A continuación mencionamos la infraestructura y equipos más importantes dentro de la red.

### **4.2.1. Infraestructura Estación Base**

#### **4.2.1.1. Equipos de Telecomunicaciones**

##### **a) 1 micro BTS ZXC10 ZTE**

Para el caso de la estación base (BTS) se utilizará el mismo modelo de equipo que utiliza la red de telecomunicaciones de la empresa Valtron por un criterio de compatibilidad, ya que como se mencionó anteriormente utilizaremos la central de conmutación de esta empresa para proporcionar la red de acceso al distrito de Ahuac.

Entre las principales características de la micro BTS tenemos:

- Soporta 1 Port / 3 Sector ó 3 Port / 1 sector
- Banda de Frecuencias: 450/800/1.900 Mhz

- Máxima potencia de TX: 40 W (800 MHz ), 20W (450/1900 MHz)
- Alimentación: 220 VAC ó 48 V DC
- Consumo de Potencia: Hasta 150 W
- Dimensiones: 800 mm x 400mm x 250mm
- Ejemplo de Capacidad :

1 Portadora con 25 canales de tráfico: Soporta a: 20mE y GOS: 2%, un máximo de 850 Usuarios (17,5Er). Suponiendo una penetración del 10%, una Micro BTS puede atender a una población de 8,500 personas.



Figura 4.13: Micro BTS modelo ZXC 10 ZTE

## b) Sistema VSAT

Para lograr la interconexión entre la estación base (BTS) ubicada en el distrito de Ahuac y la central de conmutación localizada en el distrito de Callahuanca haremos

uso de un enlace VSAT, el cual permitirá una rápida, económica, segura y confiable comunicación entre los puntos mencionados.

Un equipo VSAT es un pequeño terminal terrestre para comunicaciones satelitales gestionado desde un Hub central, el cual soporta aplicaciones de datos, telefonía y multimedia.

Entre las características más importantes del terminal VSAT a utilizar tenemos:

- Modelo VSAT: SkyEdge Pro

- Características Outbound Carrier:

Standard: DVB-S

Tasa bit portadora: 340 Kbps – 62 Mbps

Modulación: QPSK ó 8PSK

- Características Inbound Carrier

Modo acceso: MF – TDMA

Tasa bit: 60 Kps – 2 Mbps

Modulación: GMSK

Modo acceso: MF – TDMA

- Características Outdoor Unit

Tamaño de Antena: Banda Ku (0.55m – 1.2 m), Banda C (1.8 m)

Temperatura de Operación: -40 °C - 60°C

- Características Indoor Unit

Interfase Data: Ethernet 100BaseT

Voltaje: 72-250 VAC ó 12 VDC

Consumo Potencia: 20 Watts



**Figura 4.14: Terminal VSAT modelo SkyEdge Pro**

**b) 1 Antena ASP-705K Andrew**

Debido a la geografía del distrito de Ahuac y de acuerdo al gráfico de cobertura que se obtuvo con el software RadioMobile el tipo de antena que mejor satisface los requerimientos del sistema es una antena de cobertura omnidireccional.

A continuación algunas características más importantes de la antena:

Frecuencia de operación: 450 – 470 Mhz.

Polarización: Vertical

Ganancia: 12.1 dBi

Azimut: 360°

Elevación: 7°

Potencia Máxima entrada: 500 W

Impedancia: 50 ohmios



**Figura 4.15: Antena de cobertura omnidireccional modelo ASP-705K Andrew**

**d) Cables, conectores y accesorios**

Se necesitará cable tipo coaxial de 7/8 pulgadas con sus respectivos accesorios de instalación, kits de aterramiento y conectores DIN-H. Así mismo se utilizará cable coaxial rígido de 1/2 pulgada para interiores y conectores

N -M.

Además se utilizará cables flexibles de 1/2 pulgada DIN-M, N-M, con sus respectivos kits de vulcanizado y arrestores de protección eléctrica para cables coaxiales.

#### 4.2.1.2 Infraestructura

##### a) Torre Autoportada 30 mts.

Debido a las condiciones climáticas del distrito de Ahuac y a la altura de la torre necesaria para lograr una adecuada señal de cobertura no es posible utilizar una torre arriostrada, por lo cual el tipo de torre a utilizar será la de tipo autoportada, Esta debe de contar con su respectiva luz de balizaje, descansos, cable de vida y canastilla para antenas.



**Figura 4.16: Torre Autoportada de 30 metros**

## **b) Shelter**

Si bien es cierto que la micro BTS es de tipo Outdoor, lo cual implica que puede estar instalado al aire libre, es recomendable por razones de seguridad que tanto este equipo así como los componentes del sistema de energía se encuentren en una cabina de protección (Shelter). Ésta debe ser acústico para cumplir las normas ambientales de ruido solicitadas por las municipalidades, además debe contar con vigas para sostener escalerillas, ventanas pasamuros y con las instalaciones eléctricas necesarias, tablero de distribución, iluminación adecuada y tomacorrientes.

## **c) Terreno de 40 mt<sup>2</sup>**

Con el fin de contar con el suficiente espacio para lograr la instalación de los diferentes equipos que conforman la red de acceso, es necesario la adquisición de un terreno de aproximadamente 40 mt<sup>2</sup> donde se pueda ubicar con seguridad y facilidad la torre autosoportada y la cabina de protección (Shelter).

### **4.2.1.3. Sistema de Energía**

Los sistemas de energía eléctrica para los equipos de telecomunicaciones, vienen a ser una de las partes más importantes en el caso de las áreas rurales, dadas las dificultades que normalmente se encuentran.



### **a) Sistema Energía AC**

Dado que la estación base (BTS) se encuentra en el distrito de Ahuac en una zona accesible podemos señalar que la energía que se utilizará para los equipos de telecomunicaciones es energía eléctrica de la red comercial, es decir voltaje monofásico de 220 Voltios a una frecuencia de 60 Hz.

### **b) Sistema Energía DC**

El suministro de corriente continua se efectuará desde una fuente de corriente continua constituida por uno o más rectificadores y un equipo de baterías.

El banco de baterías estará conectada hacia la carga, en forma flotante. Los rectificadores, que trabajarán en paralelo, repartiéndose la corriente de consumo, abastecerán un banco de baterías cuya capacidad es superior a 10 veces el consumo promedio de la carga.

En condiciones de una red normal, los rectificadores flotan la batería a un voltaje ajustable entre 52 y 54 Voltios, suministrando la energía al consumo a través de la unidad de control y regulación de voltaje.

### **c) Rectificador**

El rectificador tiene como función alimentar a los equipos de telecomunicaciones con corriente estabilizada, independientemente de las fluctuaciones de corriente alterna y de la corriente de salida, considerando la corriente de consumo en conjunto con la del equipo de batería.

Para nuestro caso tenemos:

Corriente de micro BTS = 3.125 A

Corriente del banco de baterías = 1.9 A

Voltaje = 48 Voltios

Capacidad Rectificador = 240 W.

#### d) Banco de baterías

Dado que la potencia de la micro BTS es de 150 W tenemos que la corriente que consume es de aproximadamente 3.125 A para un voltaje de 48 V, por lo tanto si deseamos una entrega de energía por parte de las baterías por un período de 6 horas tenemos un banco de baterías de 19 Ah.



**Figura 4.17: Banco de baterías**

#### 4.2.1.4. Sistema de Seguridad y Protección

En el campo de las telecomunicaciones es muy importante que el efecto causado por fenómenos climáticos como los rayos sean minimizados o eliminados para proteger los equipos de telecomunicaciones así como al personal que labora en las estaciones de trabajo.

Los factores fundamentales de un sistema de protección contra rayos son los siguientes:

1. Un electrodo (pararrayos), como parte de una terminación aérea capaz de desviar la descarga eléctrica de alguna parte vulnerable de la estación.
2. Un conductor apropiado a través del cual debe circular la descarga eléctrica hacia la tierra sin el consecuente peligro de un calentamiento o descarga lateral o alguna posible electrificación de la estructura a ser protegida.
3. Un sistema de tierra con una baja impedancia dinámica capaz de dispersar con rapidez y confiabilidad cualquier corriente de descarga.

##### a) Sistema Pararrayos

Existen fundamentalmente dos tipos de pararrayos que se pueden utilizar:

1. El pararrayo “Franklin” que está formado fundamentalmente por mástiles. Este tipo de protección está determinado por un cono, teniendo como vértice el punto más alto del pararrayos y cuya generatriz forma un ángulo de  $60^\circ$  en relación al vértice.

2. El otro tipo de pararrayos a poder utilizar es el “Radio-Activo”, el cual usa un material radioactivo en el captor, y tiene la propiedad de ionizar la atmósfera multiplicando en decenas o centenas de millones de veces su conductividad.

Debido a un factor de costos nos inclinamos por la utilización de un pararrayos tipo “Franklin”. Sobre el conductor de descarga podemos indicar que éste tendrá por finalidad unir el pararrayos con el sistema de tierra, para lo cual utilizaremos un conductor de cable de cobre calibre AWC N° 2/0.

#### **e) Sistemas de pozo a tierra**

Referente al sistema de pozo a tierra las recomendaciones de la UIT nos señalan que la resistencia no debe superar los 10 ohmios en las estaciones terminales y los 20 ohmios en las estaciones repetidoras.

La resistividad del terreno será el factor determinante del pozo a tierra y para conocer su valor real tenemos que medir la resistividad del terreno. Conociendo la resistividad del terreno podemos dimensionar nuestro sistema pozo a tierra.

En muchas ocasiones la colocación de uno o dos electrodos es insuficiente, por lo cual se tiene que emplear un sistema a tierra más complejo conformado por un conjunto de electrodos unidos entre si. Existen tres tipos de sistemas conocidos como: distribución en “malla”, en “estrella” y distribución “mixta”, para nuestro caso, con el fin de lograr un bajo nivel de resistencia de aproximadamente 5 ohmios, utilizaremos el sistema de distribución en “malla”.

#### 4.2.2. Infraestructura Central de Conmutación

Al no considerar a la estación BSC y a la central de conmutación en el diseño de la red de acceso, parecería innecesario en una primera instancia resaltar sus características más importantes; sin embargo, dada su importancia en una red de telecomunicaciones debemos tomarlas en cuenta .

A continuación mencionaremos las características de mayor relevancia de los dos equipos más importantes en la central de conmutación:

##### 4.2.2.1. Equipos de Telecomunicaciones

###### a) BSC ZXC10 ZTE

La BSC (Base Station Controller) tiene entre sus principales funciones la de controlar y gestionar la estación base (BTS), la asignación de frecuencias y el handoff.

Entre las características más importantes de este equipo, tenemos:

- Capacidad de 240 enlaces E1 hacia el MSC
- Capacidad de 380 enlaces E1 hacia las BTS's;
- 7.200 selector/vocoder;
- Vocoder: 8k,13K,EVRC;
- 5,040 Erlang de Capacidad de tráfico;
- BSC/PCF soporta hasta 2,400 sesiones activasy 40,000 sesiones PPP tipo“dormant”
- MTBF > 20 Años
- Dimensiones: 2000mm x 810mm x 600mm (Alto×Ancho×Profundidad)



Figura 4.18: BSC modelo ZXC 10 ZTE

**b) MSS ( MSC/VLR, HLR) ZXC10 ZTE**

El Mobile Switching Subsystem (MSS) es un equipo integrado de la marca ZTE que ofrece tres subsistemas simultáneamente. Provee los servicios de una central de conmutación móvil (MSC), y los servicios de dos bases de datos (VLR y HLR respectivamente),



### Capacidad de sistema MSC

- Máx. (10 módulos): ~600K Abonados.(0.03 Erlang/Abonado)
- Modulo simple : 60K Abonados.
- Habilidad de procesamiento de llamada por modulo: 500K BHCA
- Máx. habilidad de procesamiento de llamada: 5000K BHCA
- Máx. Erlang : 20,000Erl
- Máx. No.7 link : 640 Link

**Capacidad del sistema VLR:** 800K

**Capacidad del Sistema HLR:**1.200K

**Capacidad del Sistema AUC:** Soporta HLR a plena carga y procesa datos de seguridad de usuario. Dimensiones: 2000mm x 810mm x 600mm Peso:≤250Kg, Energía: -48VDC.



Figura 4.19: MSS modelo ZXC 10 ZTE



### 4.3. Costos

#### 4.3.1. Costos de la Estación Base

##### a) Equipos de telecomunicaciones

Equipo	Precio (\$)
1 micro BTS ZXC10 ZTE	27000
1 Antena ASP-750K Andrew	500
Cables, conectores y accesorios	1000
Total	28500

Tabla 4.4: Costos de los equipos de telecomunicaciones de la estación base

##### b) Infraestructura

Equipo	Precio(\$)
Torre Autosoportada 30 mts	7500
Shelter	3000
Terreno 40 mt2 (Compra)	400
Total	10900

Tabla 4.5: Costos de la infraestructura de telecomunicaciones de la estación base

##### c) Sistema de Energía

Equipo	Precio(\$)
Sistema Energía AC	500
1 Rectificador	500
1 Banco de Baterías	426
Sistema Seguridad y Protección	2500
Total	3926

Tabla 4.6: Costos del sistema de energía de la estación base

#### d) Costo total de la Estación Base

Item	Costo (\$)
Equipos de telecomunicaciones	28500
Infraestructura	10900
Sistema de energía	3926
Total	43326

**Tabla 4.7: Costo total de la estación base**

#### 4.3.2. Costos Operativos Mensuales

Costos de Operación Fija	Costo(\$)
Red VSAT	4416
Energía Eléctrica	150
Personal	800
Mantenimiento	400
Total	5766

**Tabla 4.8: Costos operativos de la red de acceso**

#### 4.4. Viabilidad del proyecto

Como en todo proyecto de inversión es de suma importancia analizar su viabilidad económica, la que permite tener una aproximación de la rentabilidad del proyecto. Con el fin de encontrar los índices de viabilidad tomaremos en cuenta los parámetros de inversión, ingresos y egresos de la red de acceso.

##### 4.4.1. Ingresos de la Red de acceso

En el proceso del cálculo de tráfico se asumió una cantidad aproximada de 600 abonados, de los cuales podemos calcular un promedio de 180 abonados por año, número que equivale a 15 nuevos abonados por mes aproximadamente. Para este número de abonados tomamos en consideración los siguientes costos de instalación y de operación.

Item	Precio (S/.)
Costo de Instalación	540
Costo de Operación Mensual	54.5

**Tabla 4.9: Ingresos de la red de acceso por cada nuevo abonado**

De esta tabla podemos calcular que el promedio de ingreso por abonado durante un año será igual a S/. 1194. Tomando en consideración un TMAR de 1% mensual y usando factores de interés discreto capitalizado al 1% tenemos la siguiente tabla de ingreso mensual, mes a mes, durante el primer año.

Mes	Nº Abonados	Ingreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso (S/.)
1	15	8917,5	0,99010	8829,22
2	30	9735	0,98030	9543,22
3	45	10552,5	0,97060	10242,26
4	60	11370	0,96100	10926,57
5	75	12187,5	0,95150	11596,41
6	90	13005	0,94200	12250,71
7	105	13822,5	0,93270	12892,25
8	120	14640	0,92350	13520,04
9	135	15457,5	0,91430	14132,79
10	150	16275	0,90530	14733,76
11	165	17092,5	0,89630	15320,01
12	180	17910	0,88740	15893,33
				<b>149880,56</b>

**Tabla 4.10: Ingreso mensual de la red de acceso durante el primer año**

#### 4.4.2. Cálculo del VAN y TIR

El cálculo del Valor Actual Neto (VAN) es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de un proyecto de inversión, el cual consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los ingresos menos los egresos para cada año, actualizados a una tasa de interés predeterminada y comparar esta equivalencia con la inversión inicial.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un índice de rentabilidad y está definida como la tasa de interés que reduce a cero el VAN, se podría decir en términos económicos que la Tasa Interna de Retorno (TIR) representa la rentabilidad exacta del proyecto.

#### **4.4.2.1. Cálculo del VAN y TIR asumiendo la red de acceso del distrito de Ahuac como proyecto independiente de la red operadora Valtron.**

En el caso que se ejecute el proyecto de manera independiente a la red existente de la empresa operadora Valtron, se hará necesario el pago por concepto de alquiler de las estaciones BSC y MSS.

De acuerdo a lo conversado con el gerente de la empresa Valtron, Ingeniero Ruddy Valdivia, el porcentaje de pago sería equivalente al 60% de los ingresos que genere la red de acceso del distrito de Ahuac.

Las siguientes tablas nos muestran el cálculo del flujo de caja para cada año durante el período de cinco años.

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
1	15	3567	17328	0.99010	-13625
2	30	3894	17328	0.98030	-13169
3	45	4221	17328	0.97060	-12722
4	60	4548	17328	0.96100	-12282
5	75	4875	17328	0.95150	-11849
6	90	5202	17328	0.94200	-11423
7	105	5529	17328	0.93270	-11005
8	120	5856	17328	0.92350	-10594
9	135	6183	17328	0.91430	-10190
10	150	6510	17328	0.90530	-9794
11	165	6837	17328	0.89630	-9403
12	180	7164	17328	0.88740	-9020
<b>Flujo Caja1</b>					<b>-135074</b>

Tabla 4.11: Flujo de caja del primer año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
13	195	7491	17328	0.99010	-9740
14	210	7818	17328	0.98030	-9323
15	225	8145	17328	0.97060	-8913
16	240	8472	17328	0.96100	-8511
17	255	8799	17328	0.95150	-8115
18	270	9126	17328	0.94200	-7726
19	285	9453	17328	0.93270	-7345
20	300	9780	17328	0.92350	-6971
21	315	10107	17328	0.91430	-6602
22	330	10434	17328	0.90530	-6241
23	345	10761	17328	0.89630	-5886
24	360	11088	17328	0.88740	-5537
<b>Flujo Caja2</b>					<b>-90910</b>

Tabla 4.12: Flujo de caja del segundo año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
25	375	11415	17328	0.99010	-5854
26	390	11742	17328	0.98030	-5476
27	405	12069	17328	0.97060	-5104
28	420	12396	17328	0.96100	-4740
29	435	12723	17328	0.95150	-4382
30	450	13050	17328	0.94200	-4030
31	465	13377	17328	0.93270	-3685
32	480	13704	17328	0.92350	-3347
33	495	14031	17328	0.91430	-3014
34	510	14358	17328	0.90530	-2689
35	525	14685	17328	0.89630	-2369
36	540	15012	17328	0.88740	-2055
<b>Flujo Caja3</b>					<b>-46745</b>

Tabla 4.13: Flujo de caja del tercer año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
37	555	15339	17328	0.99010	-1969
38	570	15666	17328	0.98030	-1629
39	585	15993	17328	0.97060	-1296
40	600	16320	17328	0.96100	-969
41	615	16647	17328	0.95150	-648
42	630	16974	17328	0.94200	-333
43	645	17301	17328	0.93270	-25
44	660	17628	17328	0.92350	277
45	675	17955	17328	0.91430	573
46	690	18282	17328	0.90530	864
47	705	18609	17328	0.89630	1148
48	720	18936	17328	0.88740	1427
<b>Flujo Caja4</b>					<b>-2581</b>

Tabla 4.14: Flujo de caja del cuarto año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
49	735	19263	17328	0.99010	1916
50	750	19590	17328	0.98030	2217
51	765	19917	17328	0.97060	2513
52	780	20244	17328	0.96100	2802
53	795	20571	17328	0.95150	3086
54	810	20898	17328	0.94200	3363
55	825	21225	17328	0.93270	3635
56	840	21552	17328	0.92350	3901
57	855	21879	17328	0.91430	4161
58	870	22206	17328	0.90530	4416
59	885	22533	17328	0.89630	4665
60	900	22860	17328	0.88740	4909
<b>Flujo Caja5</b>					<b>41584</b>

**Tabla 4.15: Flujo de caja del quinto año siendo la red de acceso independiente de la red Valtron**

Tomando en cuenta los siguientes datos:

Inversión Inicial: S/. 147276

Tasa costo de oportunidad: 12%

Utilizando las funciones VNA y TIR de Excel obtenemos los siguientes valores:

Valor Actual Neto (VAN) = S/. -204391 + S/. - 147276  
 VAN = S/. - 351667

TIR = Valor no determinado



#### 4.4.2.2. Cálculo del VAN y TIR asumiendo la red de acceso del distrito de Ahuac como proyecto conjunto de la red operadora Valtron.

En el caso que se ejecutará la red de acceso del distrito de Ahuac como un proyecto perteneciente a la red operadora Valtron se podría utilizar la BSC y la MSS de esta operadora sin costo adicional.

Las siguientes tablas nos muestran el cálculo del flujo de caja para cada año durante el período de cinco años bajo las condiciones mencionadas anteriormente:

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
1	15	8918	17328	0.99010	-8327
2	30	9735	17328	0.98030	-7443
3	45	10553	17328	0.97060	-6576
4	60	11370	17328	0.96100	-5726
5	75	12188	17328	0.95150	-4891
6	90	13005	17328	0.94200	-4072
7	105	13823	17328	0.93270	-3270
8	120	14640	17328	0.92350	-2482
9	135	15458	17328	0.91430	-1710
10	150	16275	17328	0.90530	-953
11	165	17093	17328	0.89630	-211
12	180	17910	17328	0.88740	516
<b>Flujo Caja1</b>					<b>-45146</b>

**Tabla 4.16: Flujo de caja del primer año siendo la red de acceso parte de la red Valtron**

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
13	195	18728	17328	0.99010	1386
14	210	19545	17328	0.98030	2173
15	225	20363	17328	0.97060	2945
16	240	21180	17328	0.96100	3702
17	255	21998	17328	0.95150	4443
18	270	22815	17328	0.94200	5169
19	285	23633	17328	0.93270	5880
20	300	24450	17328	0.92350	6577
21	315	25268	17328	0.91430	7259
22	330	26085	17328	0.90530	7928
23	345	26903	17328	0.89630	8582
24	360	27720	17328	0.88740	9222
<b>Flujo Caja2</b>					<b>65265</b>

Tabla 4.17: Flujo de caja del segundo año siendo la red de acceso parte de la red Valtron

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
25	375	28538	17328	0.99010	11099
26	390	29355	17328	0.98030	11790
27	405	30173	17328	0.97060	12467
28	420	30990	17328	0.96100	13129
29	435	31808	17328	0.95150	13777
30	450	32625	17328	0.94200	14410
31	465	33443	17328	0.93270	15030
32	480	34260	17328	0.92350	15637
33	495	35078	17328	0.91430	16228
34	510	35895	17328	0.90530	16809
35	525	36713	17328	0.89630	17374
36	540	37530	17328	0.88740	17927
<b>Flujo Caja3</b>					<b>175677</b>

Tabla 4.18: Flujo de caja del tercer año siendo la red de acceso parte de la red Valtron

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
37	555	38348	17328	0.99010	20811
38	570	39165	17328	0.98030	21407
39	585	39983	17328	0.97060	21988
40	600	40800	17328	0.96100	22557
41	615	41618	17328	0.95150	23111
42	630	42435	17328	0.94200	23651
43	645	43253	17328	0.93270	24180
44	660	44070	17328	0.92350	24696
45	675	44888	17328	0.91430	25198
46	690	45705	17328	0.90530	25690
47	705	46523	17328	0.89630	26167
48	720	47340	17328	0.88740	26633
<b>Flujo Caja4</b>					<b>286089</b>

Tabla 4.19: Flujo de caja del cuarto año siendo la red de acceso parte de la red Valtron

Mes	N <sup>a</sup> Abonados	Ingreso Red Ahuac (S/.)	Egreso (S/.)	Factor Interés	Ingreso Neto
49	735	48158	17328	0.99010	30524
50	750	48975	17328	0.98030	31024
51	765	49793	17328	0.97060	31510
52	780	50610	17328	0.96100	31984
53	795	51428	17328	0.95150	32446
54	810	52245	17328	0.94200	32892
55	825	53063	17328	0.93270	33330
56	840	53880	17328	0.92350	33756
57	855	54698	17328	0.91430	34167
58	870	55515	17328	0.90530	34571
59	885	56333	17328	0.89630	34960
60	900	57150	17328	0.88740	35338
<b>Flujo Caja5</b>					<b>396500</b>

Tabla 4.20: Flujo de caja del quinto año siendo la red de acceso parte de la red Valtron

Tomando en cuenta los siguientes datos:

Inversión Inicial: S/. 147276

Tasa costo de oportunidad: 12%

Utilizando las funciones VNA y TIR de Excel obtenemos los siguientes valores:

Valor Actual Neto (VAN) = S/. 543562 + S/. - 147276

VAN = S/. 396286

TIR = 53%



## Abreviaciones

CDMA: Acceso múltiple por división de código

FDMA: Acceso múltiple por división de frecuencia

TDMA: Acceso múltiple por división de tiempo

BTS: Estación Base Transmisora

BSC: Estación Base de Control

MSC: Central de conmutación móvil

MSS: Subsistema de conmutación móvil

PCM: Modulación por código de pulsos

PSK: Modulación por desplazamiento de fase

VSAT: Terminal de apertura muy pequeña

BS: Estaciones base

RU: Unidades repetidoras

SU: Unidades de abonado

CS: Estaciones de célula

SS: Espectro ensanchado

PN: Pseudo-ruido

TNC: Controlador de nodo Terminal

PHS: Sistema de teléfono portátil personal

DECT: Teléfonos digitales sin cordón

VAN: Valor actual neto

TIR: Tasa interna de retorno

OSIPTEL: Organismo supervisor de la inversión privada en telecomunicaciones

MTC: Ministerio de transportes y comunicaciones

ITU: Unión internacional de Telecomunicaciones