

**Producto 2.**  
Volumen 3 de 4  
**Estudio de  
Propagación-Comunicación**

**Diciembre 2013**



**Contrato No.**  
**1-02-25500-0690-2011**

**Versión: 1**

**Fecha: 03 / 12 / 2013**

**REALIZAR EL DISEÑO A  
NIVEL DE INGENIERÍA DE  
DETALLE DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE "CANOAS"  
EN LOS COMPONENTES  
ASOCIADOS AL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO PRIMARIO  
CON ASISTENCIA QUÍMICA**





**EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ  
E.S.P.**

**CONTRATO No. 1-02-25500-0690-2011**

**REALIZAR EL DISEÑO A NIVEL DE INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE “CANOAS” EN LOS COMPONENTES ASOCIADOS AL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO PRIMARIO CON ASISTENCIA QUÍMICA**

**PRODUCTO No. 2**

**INFORME DE ESTUDIOS PRELIMINARES DE CAMPO**

**Volumen 3 – Estudio de propagación - comunicación**

Preparado por:  
CONSORCIO  
CDM Smith - INGESAM SAS

Diciembre de 2013



# Tabla de contenido

<b>Sección 1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1-1</b>
<b>Sección 2</b>	<b>Identificación de alternativas.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Aspectos generales para la identificación de alternativas.....	2-1
2.1.1	Criterios de diseño para el sistema de comunicaciones.....	2-1
2.1.2	Normas técnicas.....	2-3
2.1.2.1	Normas EAAB.....	2-3
2.1.2.2	Normas internacionales.....	2-3
2.1.2.3	Normas nacionales.....	2-4
2.1.3	Servicios de comunicaciones.....	2-4
2.1.3.1	Transmisión de datos SCADA.....	2-4
2.1.3.2	Sistema de radio móvil.....	2-4
2.1.3.3	Sistema de telefonía.....	2-4
2.1.3.4	Red de informática.....	2-4
2.1.4	Determinación del ancho de banda.....	2-5
2.2	Alternativas tecnológicas.....	2-5
2.2.1	Sistema de transmisión de datos – SCADA.....	2-5
2.2.2	Sistema de radio móvil – Trunking.....	2-11
2.2.3	Sistema celular GPRS.....	2-12
2.2.4	Telefonía y redes LAN.....	2-13
2.2.5	Interfaces y protocolos de datos.....	2-13
2.2.6	Arquitectura del sistema de control.....	2-14
2.2.7	Sistema de interconexión y red de datos.....	2-15
2.2.8	Fibra Óptica.....	2-16
2.2.8.1	Ingeniería.....	2-16
2.2.8.2	Instalación.....	2-16
2.2.8.3	Configuración y puesta en marcha.....	2-17
2.2.8.4	Disponibilidad – Fibra Óptica vs. Radio Microondas.....	2-17
2.2.8.5	Seguridad - Fibra Óptica vs. Radio Microondas.....	2-17
2.2.8.6	Rendimiento - Fibra Óptica vs. Radio Microondas.....	2-17
2.2.8.7	Precio - Fibra Óptica vs. Radio Microondas.....	2-17
2.2.9	Conclusiones sobre las alternativas tecnológicas.....	2-18
2.3	Alternativas de enlaces.....	2-19
2.3.1	Enlaces directos.....	2-19
2.3.1.1	PTAR Canoas – Centro de Control Modelia.....	2-19
2.3.1.2	PTAR Canoas – Centro Nariño.....	2-19
2.3.2	Enlaces a través de repetidoras.....	2-20
2.3.2.1	PTAR Canoas – Sierra Morena.....	2-20
2.3.2.2	PTAR Canoas – Cerro Suba.....	2-20
2.3.2.3	PTAR Canoas – Cerro Popa.....	2-21
2.3.2.4	PTAR Canoas – Alto del Cable.....	2-21
2.3.2.5	PTAR Canoas – Cerro Samper.....	2-22
2.3.3	Conclusiones sobre las alternativas de enlaces.....	2-22

<b>Sección 3 Evaluación técnica.....</b>	<b>3-1</b>
3.1    Visita a los sitios.....	3-1
3.1.1    PTAR Canoas.....	3-2
3.1.2    Centro de Control Modelia.....	3-2
3.1.3    Centro Nariño.....	3-2
3.1.4    Sierra Morena.....	3-3
3.1.5    Cerro Suba .....	3-3
3.2    Topología del sistema.....	3-3
3.3    Frecuencia de operación .....	3-3
3.3.1    Monitoreo de frecuencias. ....	3-3
3.3.2    Gestión de permisos del uso de frecuencias .....	3-4
3.4    Perfiles topográficos – línea de vista.....	3-4
3.5    Cálculos de propagación – confiabilidad del sistema.....	3-5
3.5.1    Consideraciones para el cálculo y comportamiento del sistema .....	3-5
3.5.2    Cálculos de disponibilidad del sistema .....	3-6
3.5.3    Características estándar del equipo .....	3-6
3.5.4    Cálculos de consumo de energía .....	3-6
3.5.5    Diagramas en bloque .....	3-6
3.6    Resultados de la evaluación técnica.....	3-6
<b>Sección 4 Evaluación económica.....</b>	<b>4-1</b>
<b>Sección 5 Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>5-1</b>
<b>Sección 6 Análisis de amenaza y vulnerabilidad de la infraestructura existente.....</b>	<b>6-1</b>

## Lista de anexos

---

- ANEXO 1 Formularios visitas de reconocimiento
- ANEXO 2 Cuadro resumen visitas a los sitios
- ANEXO 3 Topología del sistema
- ANEXO 4 Perfiles topográficos
- ANEXO 5 Consideraciones para el cálculo de comportamiento del sistema
- ANEXO 6 Cálculos de propagación
- ANEXO 7 Cálculos de disponibilidad
- ANEXO 8 Características típicas radios de microondas
- ANEXO 9 Cálculos de consumo de energía
- ANEXO 10 Diagramas en bloques
- ANEXO 11 Listado de equipos, materiales y servicios
- ANEXO 12 Procedimiento de Análisis de Vulnerabilidad

## Lista de tablas

---

Tabla 6-1 Resumen del análisis de vulnerabilidad .....	6-1
--	-----

## Lista de figuras

Figura 2-1 Topología de la red de microondas. Datos Scada.....	2-7
Figura 2-2 Topología red de UHF y VHF.....	2-9
Figura 2-3 Configuración típica de una repetidora .....	2-10
Figura 2-4 Configuración típica de estación remota con enlace dedicado .....	2-10
Figura 2-5 Configuración típica enlace UHF .....	2-11
Figura 2-6 Configuración típica enlace UHF/VHF.....	2-11
Figura 2-7 Topología Sistema Trunking – 800 MHZ .....	2-12
Figura 2-8 Sistema celular GPRS .....	2-12
Figura 2-9 Protocolos e interfaces de datos .....	2-14
Figura 2-10 Niveles de control – Arquitectura .....	2-15
Figura 2-11 Red de interconexión - Sistema de control EAAB .....	2-15
Figura 2-12 Perfil sin curvatura de la alternativa de enlace PTAR Canoas – Centro de Control Modelia .....	2-19
Figura 2-13 Perfil sin curvatura de la alternativa de enlace PTAR Canoas – Centro Nariño.....	2-20
Figura 2-14 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Sierra Morena .....	2-20
Figura 2-15 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Cerro Suba.....	2-21
Figura 2-16 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Cerro Popa.....	2-21
Figura 2-17 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Alto del Cable .....	2-22
Figura 2-18 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Cerro Samper .....	2-22



## Glosario de términos, siglas y acrónimos

AMP	Amperios
E1	Hace referencia a una tecnología de modulación PCM / TDM, un E1 es un paquete de datos que puede llevar 32 canales de voz.
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
FADING (F.O.P)	Desvanecimiento de la señal propagada (Probabilidad de corte por desvanecimiento).
GHz	Giga Hertz: múltiplo de la unidad de medida de frecuencia hercio
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INDOOR/OUTDOO	Arquitectura de los radios, que se refiere a tener una unidad interna y una unidad externa que generalmente es la unidad de RF
IP	Protocolo internet
ITU-R	International Telecommunications Union (R=Radio)
ITU-TP	International Telecommunications Union (T=Telecommunications)
LAN	Local área network
MBPS	Mega bits por segundo
MTBF	Tiempo medio entre fallas de un equipo
MTR	Tiempo promedio para reestablecer el sistema
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
TDM	Time-división multiplexing
MINTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
UHF	Ultra High Frequency
Voz/IP	Hace referencia a una tecnología que permite establecer conexiones de voz por internet.

## Sección 1

# Introducción

El Producto 2 del contrato de consultoría N° 1-02-25500-0690-2011 suscrito entre el ACUEDUCTO DE BOGOTÁ y el Consorcio CDM Smith – INGESAM para *realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química*, comprende la ejecución de los trabajos preliminares de campo requeridos para completar la información existente que permita el desarrollo de la evaluación de alternativas prevista en los Productos 3 al 6 del contrato. De acuerdo con las Condiciones y Términos de la Invitación (CTDI), estos trabajos tienen los siguientes alcances:

- Levantamiento topográfico detallado del terreno de la hacienda Canoas, destinado por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Soacha para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Canoas.
- Evaluación geotécnica preliminar del terreno de la hacienda Canoas, destinado por el POT de Soacha para la construcción de la PTAR Canoas.
- Estudio de propagación – comunicación.
- Mediciones de resistividad de tierra para diseño de malla a tierra.
- Estudios para el trazado de la línea de alimentación eléctrica para la planta de tratamiento.

Para facilitar el entendimiento de la información y los resultados de los diferentes trabajos que conforman el Producto 2 del contrato, el Informe de este producto se ha organizado en cuatro volúmenes, de la siguiente manera:

- Volumen 1. Levantamiento topográfico detallado del sitio destinado para la PTAR Canoas.
- Volumen 2. Estudios geotécnicos preliminares del sitio destinado a la PTAR Canoas.
- Volumen 3. Estudios de propagación – comunicación.
- Volumen 4. Mediciones de resistividad de tierra y estudios para el trazado de la línea de alimentación eléctrica para la PTAR Canoas.

El presente documento corresponde al Volumen 3 del Informe del Producto 2, el cual contiene los resultados de los estudios de propagación – comunicación y el análisis y evaluación de alternativas tecnológicas para implementar el sistema de comunicaciones de la PTAR Canoas. Los trabajos relacionados con estos estudios fueron realizados por la Firma VITECHCOM, a través de un sub-contrato suscrito con el Consorcio CDM Smith – INGESAM.

El Informe está organizado en seis secciones, así:

1. **Introducción.**
2. **Identificación de alternativas.** Presenta la identificación y descripción de las alternativas tecnológicas y de las alternativas de rutas para los enlaces desde la PTAR Canoas y la selección preliminar de las alternativas viables.
3. **Evaluación técnica.** Incluye el análisis y evaluación técnica de las dos alternativas viables seleccionadas en la Sección 2.
4. **Evaluación económica.** Presenta un estimativo de costos de las alternativas viables, incluyendo servicios técnicos, adecuaciones y torres.
5. **Conclusiones y recomendaciones.** Incluye las recomendaciones y conclusiones resultantes de los estudios realizados.
6. **Análisis de amenaza y vulnerabilidad de la infraestructura existente.** Presenta un análisis del grado de amenaza y vulnerabilidad de la infraestructura existente, incluyendo torres de antenas, casetas para equipos, sistema eléctrico y vías de acceso.

Adicionalmente, este Volumen incluye 12 Anexos con el siguiente contenido:

- ANEXO 1 Formularios visitas de reconocimiento
- ANEXO 2 Cuadro resumen visitas a los sitios
- ANEXO 3 Topología del sistema
- ANEXO 4 Perfiles topográficos
- ANEXO 5 Consideraciones para el cálculo de comportamiento del sistema
- ANEXO 6 Cálculos de propagación
- ANEXO 7 Cálculos de disponibilidad
- ANEXO 8 Características típicas radios de microondas
- ANEXO 9 Cálculos de consumo de energía
- ANEXO 10 Diagramas en bloques
- ANEXO 11 Listado de equipos, materiales y servicios
- ANEXO 12 Procedimiento de Análisis de Vulnerabilidad

## Sección 2

# Identificación de alternativas

En esta sección se presenta una descripción y análisis preliminar de las alternativas tecnológicas y las alternativas de rutas para el sistema de comunicaciones de la futura PTAR Canoas, localizada en el municipio de Soacha. Partiendo de los resultados de la revisión de infraestructura de comunicaciones existente, los cuales fueron consignados en el Informe del Producto 1 de esta consultoría (Informe de Análisis de la Información Existente), así como de los criterios de diseño definidos en las Condiciones y Términos de la Invitación (CTDI) y las normas técnicas nacionales e internacionales aplicables al tema, se identifican y describen las alternativas y, posteriormente, se hace una recomendación sobre aquellas con mayor viabilidad, las cuales se llevan a un análisis técnico y económico más detallado, con el fin de recomendar la solución más apropiada para la EAAB.

## 2.1 Aspectos generales para la identificación de alternativas

La documentación recopilada y analizada dentro del Producto 1 por esta consultoría, determina de manera general los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para el diseño del sistema de comunicaciones que permitirá transportar la información de datos y voz desde la PTAR Canoas, hasta el Centro de Control Modelia de la EAAB. Sin embargo, no especifica en detalle aspectos relevantes como las velocidades y anchos de banda de la información a transmitir, interfaces y protocolos de comunicaciones, cantidad de servicios de comunicaciones administrativos, operativos y de control.

De la reunión sostenida con el Jefe de la División Táctica de Mantenimiento del Centro de Control Modelia de la EAAB, surgió una recomendación muy importante relacionada con el diseño del sistema de comunicaciones, y es que él considera que el sistema que se implemente deberá tener la capacidad de servir no solo a las necesidades de la transmisión de datos de monitoreo remoto de la PTAR Canoas, sino a todos los requerimientos de comunicaciones operativas, administrativas y de mantenimiento.

Tanto el estudio de HMV Ingeniería como las CTDI, conciben de una manera muy global unas necesidades de comunicaciones internas en la PTAR Canoas de voz y datos que serían implementadas mediante tecnología IP, configurando una red Ethernet, basada en fibra óptica; mencionan además, las necesidades de integración a nivel de voz y datos sin considerar el Centro Administrativo de la EAAB en Centro Nariño, comunicaciones que son fundamentales para la coordinación de actividades operativas y de mantenimiento.

### 2.1.1 Criterios de diseño para el sistema de comunicaciones

De la información recopilada y analizada en el Informe del Producto 1, es posible definir como criterios de diseño generales y específicos para el sistema de comunicaciones de la PTAR Canoas, los siguientes:

- **Compatibilidad:** El sistema deberá ser compatible e integrarse con la infraestructura existente de la EAAB a nivel de sitios de repetición, equipos de comunicaciones y sistemas de procesamiento de datos.
- **Capacidad:** La capacidad del sistema deberá permitir transportar tanto servicios de voz como de datos, para integrar en el Centro de Control Modelia las operaciones de control remoto de la PTAR Canoas y con el Centro Nariño las operaciones administrativas, de mantenimiento, seguridad e informáticas.
- **Confiabilidad:** El objetivo de confiabilidad de los enlaces debe ser del 99,99% para garantizar alta calidad en la transmisión de datos.
- **Ambientales:** Los equipos y elementos que integren el sistema de comunicaciones deben estar contruidos para soportar las condiciones ambientales de cada uno de los sitios, relacionadas con altura, temperatura, humedad, ambiente corrosivo. Equipos tropicalizados con protección contra hongos y ambiente húmedos y corrosivos.
- **Crecimiento:** Las soluciones tecnológicas que se diseñen deberán permitir un crecimiento modular, flexible y de fácil escalabilidad.
- **Rentabilidad:** Se emplearán tecnologías que tengan un rápido retorno de inversión y que ayuden a la generación de valor en los procesos.
- **Eficiencia:** La infraestructura de cableado y los sistemas de comunicaciones de voz y datos a diseñar, debe aportar a la organización para tener procesos internos más eficientes.
- **Convergencia a las redes IP:** La infraestructura de voz y datos deberá basarse en soluciones de tecnología convergente en la que se integren en la misma red todos los servicios de comunicaciones para voz y transferencia de datos, orientada al servicio, donde se tengan en cuenta los lineamientos de disponibilidad, integridad y confidencialidad de la información.
- **Tecnología:** Las soluciones tecnológicas deben ser tecnologías modernas probadas y que permitan un uso eficiente de los recursos.
- **Sistemas de medición y gestión eficientes:** Todas las soluciones diseñadas incluirán tecnología y recursos para la medición y control de su desempeño, tales como sistemas de gestión.
- **Disponibilidad:** El sistema deberá contar con una disponibilidad del 99,9% y capacidad de tolerancia y adaptabilidad ante fallas de la red.
- **Contingencia:** Se debe contar con alternativas de comunicación en caso de falla del sistema de comunicaciones de voz.
- **Bajos costos de operación:** Bajos costos de repuestos, ancho de banda requerido.
- **Vigencia tecnológica:** Capacidad para integración con la red celular, mensajería unificada, enrutamiento inteligente.
- **Interoperabilidad:** El fabricante del sistema deberá tener como filosofía el soporte a los estándares de protocolo de comunicaciones del mercado, no solo para soportar aplicaciones de Internet sino también las aplicaciones multimedia y de herramientas que faciliten la gestión.

- Los sistemas deben cumplir las normas internacionales que definen las capacidades y funcionalidades de interacción con soluciones de otros fabricantes y no requerir de tecnología propietaria en los equipos de infraestructura para la prestación de los servicios de comunicaciones.
- Además, cumplir específicamente con las normas relevantes del ITU, en cuanto a selección de frecuencias y niveles de interferencias, objetivos de ruido especificados en la recomendación G.123 del ITU (Circuit Noise In National Networks),
- Modularidad y escalabilidad: Las soluciones deberán crecer de manera modular y deberán ser escalables de acuerdo con las necesidades de la planta.

## 2.1.2 Normas técnicas

Las normas técnicas a considerar en el diseño del sistema de telecomunicaciones corresponden a las siguientes normas de la EAAB, normas internacionales y nacionales:

### 2.1.2.1 Normas EAAB

#### 2.1.2.1.1 NP-047. Sistema convencional de comunicaciones. Radio portátil VHF

Esta norma establece los requisitos técnicos mínimos de los radios portátiles de una vía que trabajan en banda de muy alta frecuencia (VHF) a través de repetidora, utilizados para telecomunicaciones por la EAAB, en el sistema convencional.

#### 2.1.2.1.2 NP-056. Sistema convencional de comunicaciones. Radio móvil y fijo, VHF

Esta norma establece los requisitos técnicos mínimos para la adquisición de los radios móviles y fijos que utiliza la EAAB para las telecomunicaciones internas. Cubre los radios considerados como equipo fijo con y sin teclado, así como los considerados como equipo móvil.

#### 2.1.2.1.3 NP-066. Transmisores de microondas

Esta norma establece las características técnicas mínimas de los equipos transmisores del sistema microondas establecidas por la EAAB, y de acuerdo con el "Plan Nacional de Frecuencias" emitido por el Ministerio de Comunicaciones de Colombia.

#### 2.1.2.1.4 NP-067. Repetidores en la banda VHF sistema convencional

Esta norma establece las características técnicas mínimas de las repetidoras que trabajan en la banda de frecuencias de VHF, establecidas por la EAAB y el " Plan Nacional de Frecuencias" del Ministerio de Comunicaciones.

### 2.1.2.2 Normas internacionales

#### 2.1.2.2.1 ITU R/T, Serie F y M

Aplica para sistemas de radio y telecomunicaciones, servicios fijos y móviles.



#### 2.1.2.2.2 ITU R/T, Serie P

Aplica para estudios de propagación.

### 2.1.2.3 Normas nacionales

Normas del Ministerio de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, TIC – Colombia.

- Ley 72, 1989: Clasificación de los servicios de telecomunicaciones
- Decreto Ley 1900, 1990: Clasificación de los servicios de telecomunicaciones
- Decreto 1705, 1990: Formulas cálculos canon.
- Decreto 2041, 1998: Régimen Unificado de Contraprestaciones (RUC)
- Decreto 1972, 2003: Actualización RUC
- Decreto 447, 2003: Servicios Portadores
- Ley 1341, 2009: Ley TIC nuevas políticas cobro

### 2.1.3 Servicios de comunicaciones

Teniendo en cuenta la estructura operacional y administrativa de la EAAB, se puede considerar los siguientes tipos de servicios para el diseño del sistema de comunicaciones de la PTAR Canoas:

#### 2.1.3.1 Transmisión de datos SCADA

Las diferentes estructuras hidráulicas de la EAAB actualmente son monitoreadas y controladas remotamente desde el Centro de Control, a través de diversas redes de comunicaciones de radio, con capacidades desde 9,6 Kbps hasta 28 Mbps, dependiendo de la estructura hidráulica a supervisar. La PTAR Canoas se consideraría una estructura remota adicional a las que operan actualmente con Centro de Control Modelia, para ser controlada y monitoreada remotamente.

#### 2.1.3.2 Sistema de radio móvil

Para las operaciones de mantenimiento y coordinación en campo, la EAAB tiene implementado un sistema de radio móvil tipo trunking en la banda de 800 MHz. Cada una de las estaciones cuenta con una radio base para llevar a cabo estas operaciones; así mismo, el personal de mantenimiento y coordinación tiene asignado un radio portátil, al igual que los vehículos destinados a estas labores. Para la PTAR Canoas deberá considerarse una estructura similar integrada al sistema de radio de la EAAB que actualmente tiene un cubrimiento del 95% del área de influencia.

#### 2.1.3.3 Sistema de telefonía

Para las operaciones administrativas y generales la EAAB tiene un sistema PBX basado en tecnología TDMA e IP, que permite interconectar los diferentes puestos de trabajo del Centro Administrativo – Centro Nariño con las diferentes sub sedes de la EAAB, a través de los sistemas de radio microondas y las líneas troncales y celulares que ingresan al PBX. La PTAR Canoas debe estar integrada a este sistema a través del enlace de comunicaciones a diseñar.

#### 2.1.3.4 Red de informática

La EAAB cuenta con una red WAN/LAN que integra todos los sistemas de computadores a servidores de datos para el desarrollo de las actividades administrativas y operativas de la empresa, con

interconexiones a servicios de internet. La PTAR Canoas debe estar integrada a esta red de informática a nivel administrativo y operativo.

### 2.1.4 Determinación del ancho de banda

De acuerdo con la información suministrada por el Jefe de la División Táctica de Mantenimiento del Centro de Control Modelia de la EAAB, las siguientes son las velocidades de transmisión y anchos de banda que se utilizan en las diferentes estructuras hidráulicas de la EAAB.

- Tanques y estaciones de bombeo = 9,6 Kbps
- Estructuras de control = 14 Mbps
- Plantas de tratamiento = 28 Mbps

Considerando que desde la PTAR Canoas se integrarán los servicios de comunicaciones descritos en el numeral anterior, se pueden hacer las siguientes consideraciones preliminares para determinar la velocidad y ancho de banda del sistema:

- Transmisión de datos SCADA en tiempo real = 10 Mbps
- Transmisión de servicios de telefonía = 10 Mbps
- Red de informática = 2 Mbps
- Sistemas de seguridad CCTV = 2 Mbps
- Expansión futura = 4 Mbps
- Total capacidad = 28 Mbps

Dependiendo de la tecnología a utilizar para transmitir esta velocidad, se requeriría el siguiente ancho de banda:

- Sistemas licenciados de microondas = 28 MHz BW @ 50 Mbps
- Sistemas no licenciados Spread Spectrum = 56 MHz BW @ 28 Mbps

La determinación de la velocidad y ancho de banda para el enlace de comunicaciones debe ser revisado de acuerdo a la información que suministren los encargados del diseño de los sistemas de instrumentación, control, telefonía y seguridad.

## 2.2 Alternativas tecnológicas

La EAAB cuenta con varios sistemas de comunicaciones según su aplicación, los cuales se describen a continuación y se ilustran con figuras tomadas de la presentación en Power Point del Centro de Control Modelia proporcionada por la EAAB:

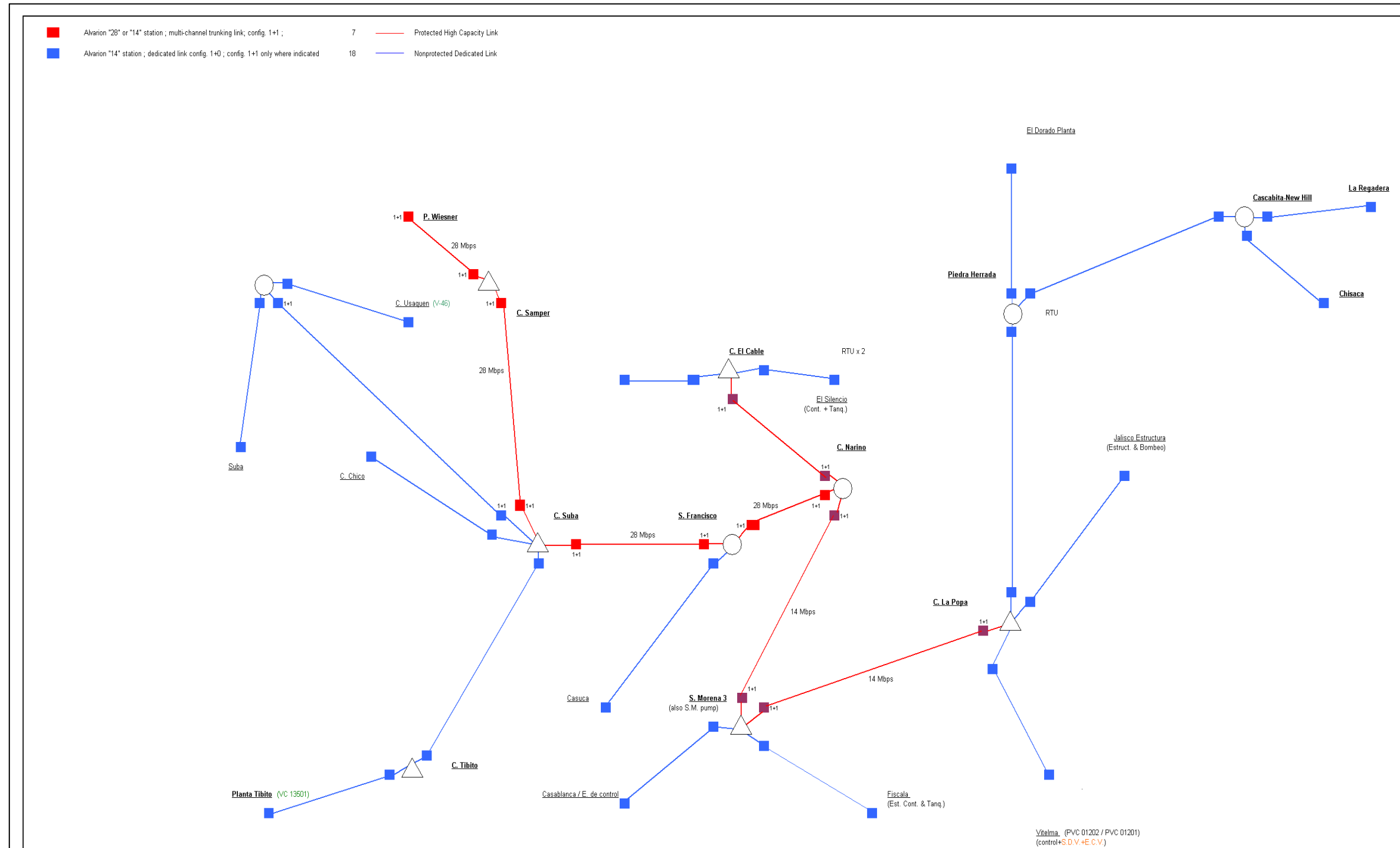
### 2.2.1 Sistema de transmisión de datos – SCADA

Este sistema está compuesto por una red troncal con radio enlaces de microondas en configuración punto a punto, en banda no licenciada de 5,8 GHz, que interconectan los diferentes sitios nodales de la

red o sitios de repetición, con una capacidad de transmisión de 28 Mbps. La topología de la red se muestra en el diagrama de la figura 2-1, en color rojo. Los puntos nodales corresponden a los sitios de repetición de Sierra Morena, Cerro Suba, Cerro Popa, Alto del Cable, Cerro Samper, Cascabita y Tibitoc, incluyéndose además el Centro de Control Modelia, Centro Nariño y Planta Wiesner. A la red troncal confluyen enlaces dedicados para algunas estructuras de control en configuración punto a punto, banda de 2,4 GHz y 14 Mbps de capacidad en banda no licenciada.

Los equipos son de marca ALVARION, tecnología IP, redundantes, de montaje indoor/outdoor, con antenas semi parabólicas tipo grilla y tipo panel de 30 cm. Los equipos están operando desde hace cinco años y en la actualidad algunos de ellos presentan dificultades de propagación, por polución de la banda de frecuencia y saturación en la capacidad de transmisión.

Figura 2-1 Topología de la red de microondas. Datos Scada



A los nodos de la red troncal tienen acceso radioenlaces en banda de UHF (450 MHz), banda licenciada, half dúplex, punto a punto, no protegidos. Estos enlaces se utilizan para transportar los datos de las estaciones de bombeo, tanques y válvulas a una velocidad de 9,6 Kbps, interconectados con un RTU/PLC a nivel de interface de datos RS232. En cada uno de los nodos principales hay una RTU que concentra los datos de las estaciones mediante interrogación tipo POOLING, por lo que el sistema no requiere dedicar una frecuencia para cada radio. En realidad todo el sistema, que puede estar compuesto por más de 100 estaciones, se opera con cinco pares de frecuencia en UHF. Adicionalmente las cadenas de bombeo integran localmente enlaces punto a punto de VHF como respaldo en caso de falla del sistema de UHF.

Los equipos son de marca DATA RADIO Integra T/R, tipo radio modem, funcionan muy bien y son de alta confiabilidad. Sin embargo, actualmente el sistema tiende a saturarse por lo que la EAAB estudia alternativas diferentes y más eficientes, como sería la integración con el sistema trunking de radio móvil. En la figura 2-2 se observa en color verde y naranja los sistemas de UHF y VHF, respectivamente. En las figuras 2-3, 2-4, 2-5 y 2-6 se puede apreciar configuraciones típicas de cada una de las estaciones de la red de datos SCADA de la EAAB.





Figura 2-3 Configuración típica de una repetidora



Figura 2-4 Configuración típica de estación remota con enlace dedicado

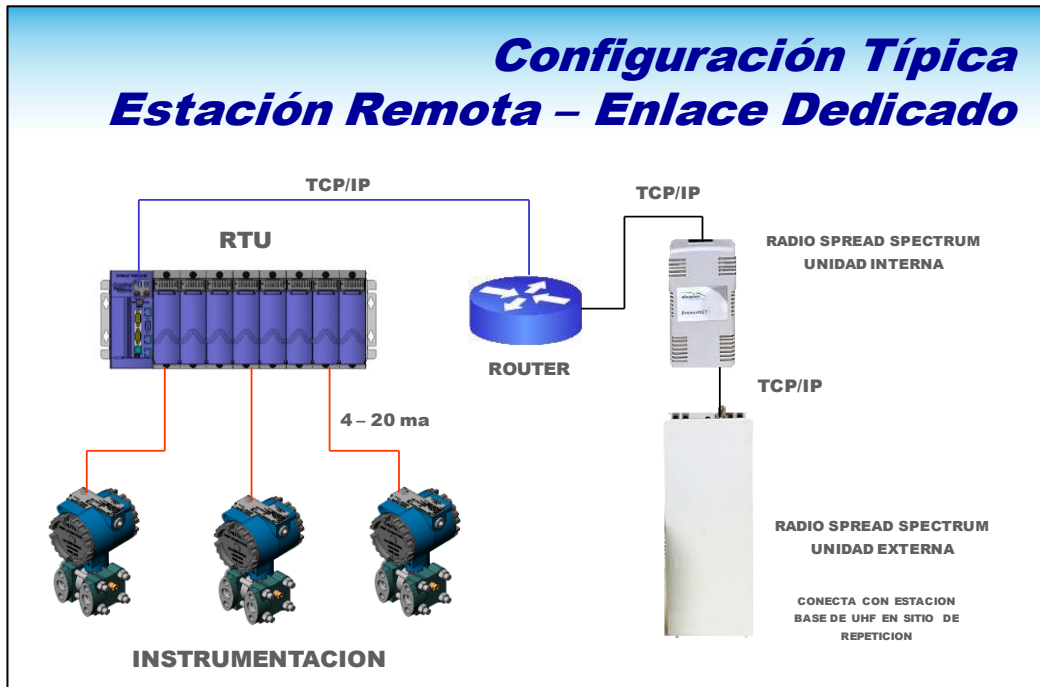


Figura 2-5 Configuración típica enlace UHF

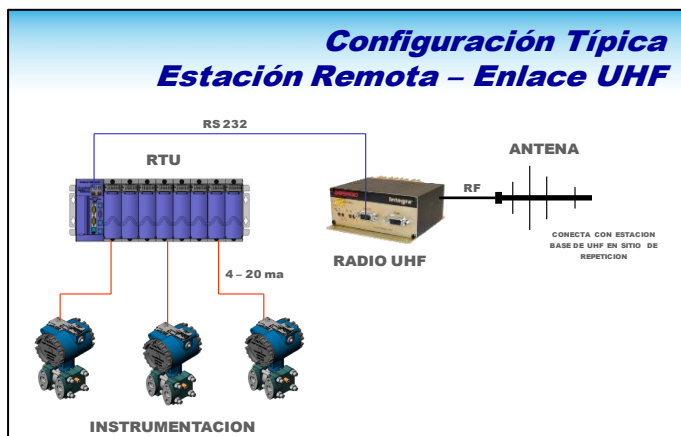
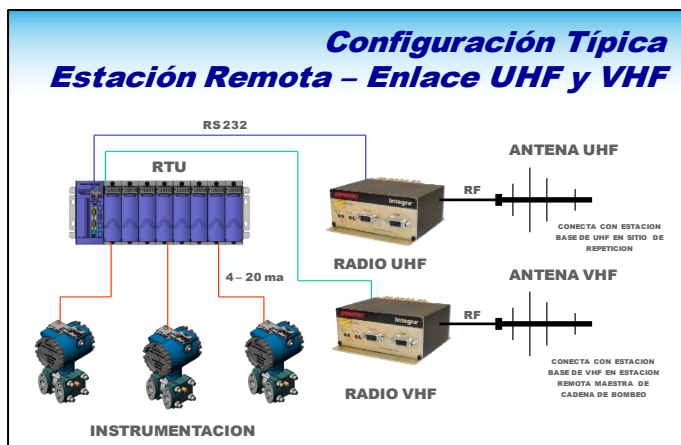


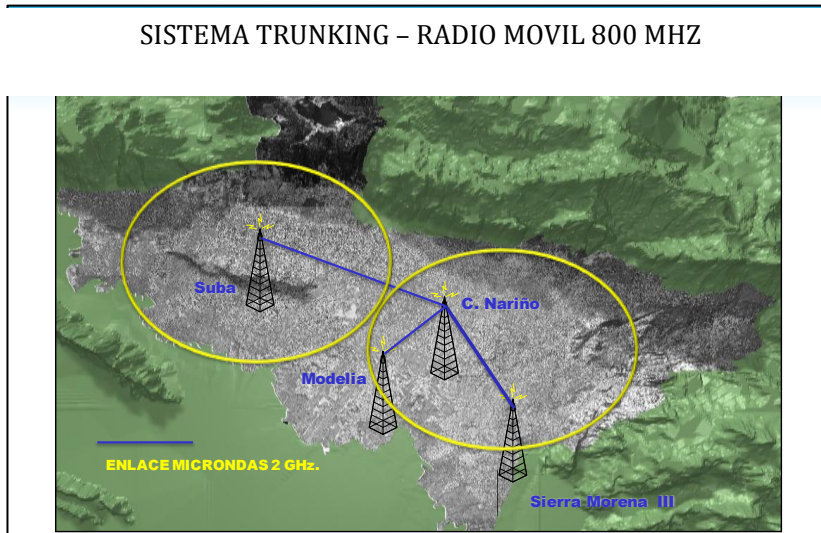
Figura 2-6 Configuración típica enlace UHF/VHF



## 2.2.2 Sistema de radio móvil – trunking

Para los servicios de mantenimiento y coordinación, la EAAB utiliza un sistema de radio móvil tipo trunking, en banda de 800 MHz. Este sistema cubre la mayoría de estaciones utilizando dos estaciones repetidoras, localizadas en Cerro Suba y Sierra Morena. El sistema es tipo multi-sitio, con consolas de despacho en Centro Nariño y Centro de Control Modelia; es un sistema de voz en dos vías, marca GE ERICSSON con 18 años de servicio. Actualmente la EAAB está planeando su actualización y modernización para suplir necesidades de transmisión de datos y ampliar su cubrimiento a otras zonas. Los sitios de repetición se interconectan con Centro Nariño a través de enlaces dedicados en banda licenciada de 7 GHz, de marca HARRIS modelo QUDRALINK, con capacidad de 2E1 (4 Mbps). Estos enlaces interconectan las estaciones repetidoras y consolas de despacho a nivel de voz y datos de supervisión. En la figura 2-7 se observa la topología del sistema y su cubrimiento.

**Figura 2-7 Topología Sistema Trunking - 800 MHZ**

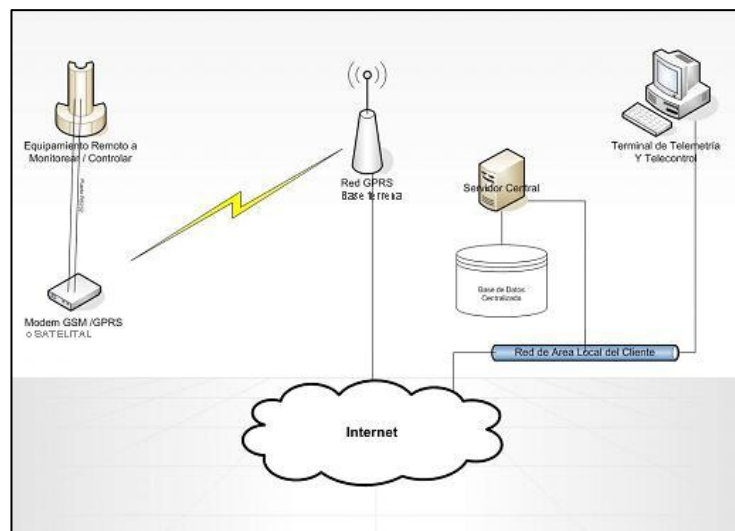


### 2.2.3 Sistema celular GPRS

En algunos puntos como cámaras de válvulas, canales, etc. donde la EAAB requiere monitorear algunas variables, existe limitaciones físicas para implementar una infraestructura como las descritas anteriormente, por lo que se ha recurrido al uso de la tecnología celular GPRS.

Esta tecnología consiste en un sistema de transmisión de datos utilizando la red de telefonía celular GSM, la cual sirve para la transmisión de datos en forma remota en zonas donde exista cobertura del operador celular. Los componentes básicos de este sistema son la infraestructura celular del operador, los radio módems GPRS y la plataforma de internet, tal como se ilustra en la **Figura 2-8**.

**Figura 2-8 Sistema celular GPRS**



Una de las ventajas más importantes de este sistema es su rápida implementación y los bajos costos de sus componentes, servicios e infraestructura. Actualmente la tecnología permite transmitir datos con un ancho de banda de hasta 110 Kbps en canal dedicado.

Sin embargo, para áreas rurales donde la cobertura del sistema celular es limitada, se cuenta con la desventaja de no poder obtener el servicio o en su defecto tener un servicio muy deficiente y poco confiable. Se debe pagar un valor mensual por el servicio y además se debe contar con una plataforma de conexión a internet.

Los equipos de control como RTU o PLC deben ser compatibles con los protocolos utilizados por los radio módems para la transmisión de datos.

Actualmente la EAAB cuenta con cerca de 1000 puntos con esta tecnología; sin embargo, no satisface la condiciones de confiabilidad y disponibilidad por lo que se están haciendo estudios para reemplazarla por otras tecnologías más confiables.

### 2.2.4 Telefonía y redes LAN

Las redes de telefonía y redes LAN de datos, son redes muy localizadas específicamente en Centro Nariño, Centro de Control, Planta Wiesner, Tibitoc y algunas estructuras de control especiales. Estas redes están basadas en equipos de telefonía PBX, de marca Siemens y Alcatel, así como Switchs CISCO y 3Com, para las redes LAN. La interconexión con las diferentes sedes de la EAAB se realiza utilizando los enlaces de microondas de la red troncal y dedicada en algunos casos.

La EAAB cuenta con contratos de operación y mantenimiento para estas redes, lo cual permite la actualización y modernización continua de estos sistemas.

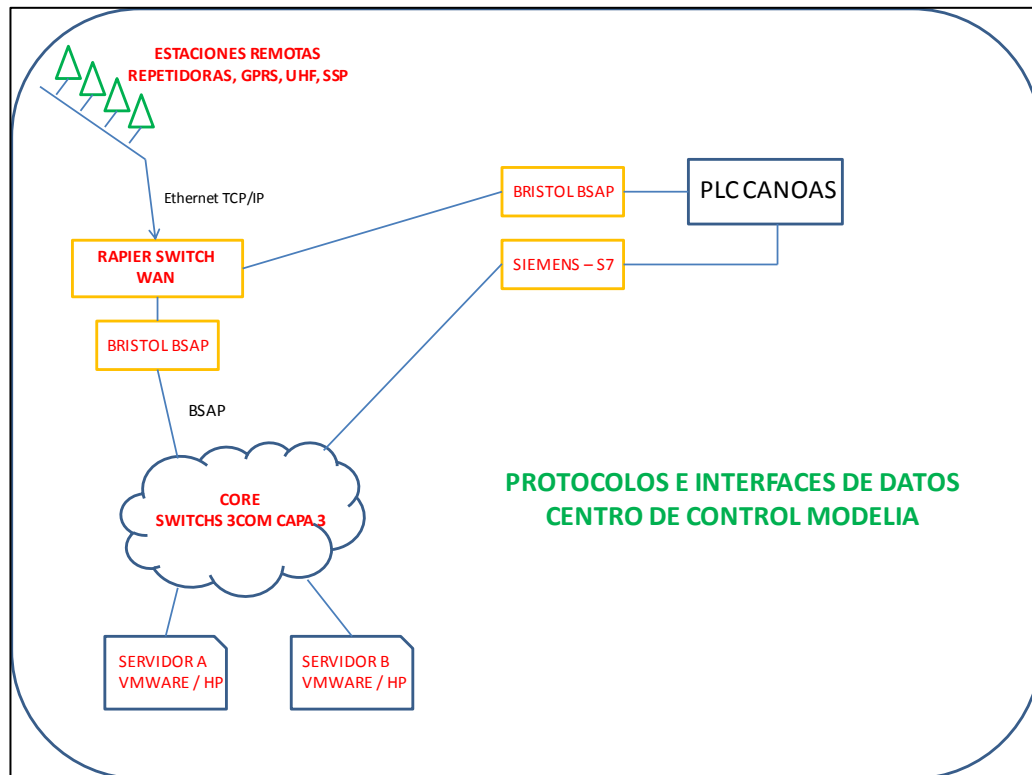
### 2.2.5 Interfaces y protocolos de datos

Los protocolos de transmisión de datos que actualmente emplea la EAAB se basan en los utilizados por su red de RTU's Bristol, las cuales manejan el protocolo BSAP. Actualmente la EAAB está actualizando su sistema de supervisión SCADA, a un sistema WINCCOA de la firma SIEMENS, por lo que la interconexión con este sistema implica el uso del protocolo S7. En resumen, el Centro de Control Modelia actualmente admitiría dos tipos de protocolos de comunicaciones: el de Bristol BSAP y el de Siemens S7. La integración con otros protocolos implicaría desarrollos que deberían acordarse con la EAAB.

Por lo tanto la PTAR Canos podría implementar su sistema de control utilizando cualquier tipo de RTU/PLC, pero obligatoriamente tendría que involucrar una RTU Bristol o PLC Siemens para hacer la conversión de los protocolos, o en su defecto basara todo su diseño en cualquiera de estos PLC o RTU para integrarse de manera directa al Centro de Control. Para el sistema de telecomunicaciones los protocolos que se utilicen son transparentes y no afectan la selección de equipos en el diseño.

La interface principal para acceder al Centro de Control Modelia es interface Ethernet TCP/IP. En la **Figura 2-9** se ilustra la interconexión a nivel datos SCADA de una estación remota, como por ejemplo, la PTAR Canoas.

**Figura 2-9 Protocolos e interfaces de datos**

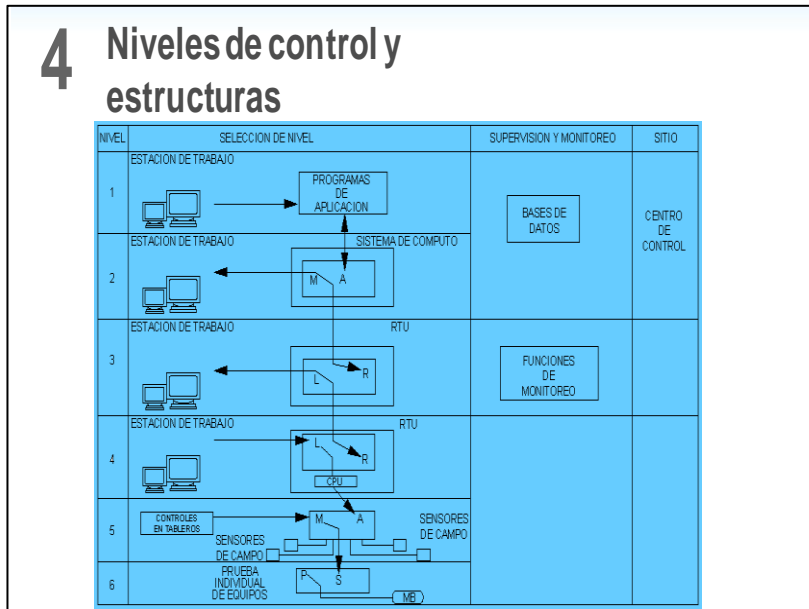


### 2.2.6 Arquitectura del sistema de control

La arquitectura del sistema de adquisición de datos de la EAAB para el control y monitoreo de sus procesos, está basada en una estructura de seis niveles, como se muestra en la **Figura 2-10**.

- El nivel 6 es el más bajo, es un nivel de mantenimiento y prueba de equipos. En este nivel la supervisión, monitoreo y control no existe, los equipos cumplen sus funciones específicas de manera autónoma y solo tiene interfaces de operación.
- El nivel 5 implica la implementación de sensores de campo para la medición de variables y control a través de tableros locales, pulsadoras, CCM's.
- El nivel 4 determina la utilización de una interface hombre-máquina HMI y una RTU, permitiendo la supervisión del sistema a través de una estación de trabajo.
- El nivel 3 ejerce funciones de monitoreo mediante la utilización de una interface hombre máquina HMI y una RTU programable.
- El nivel 2 maneja base de datos que transfiere al nivel 1 para utilización en los programas de aplicaciones.
- El nivel 1 maneja los programas de aplicaciones, genera reportes, alarmas, desarrolla funciones de supervisión, control y monitoreo remotamente y en modo automático.

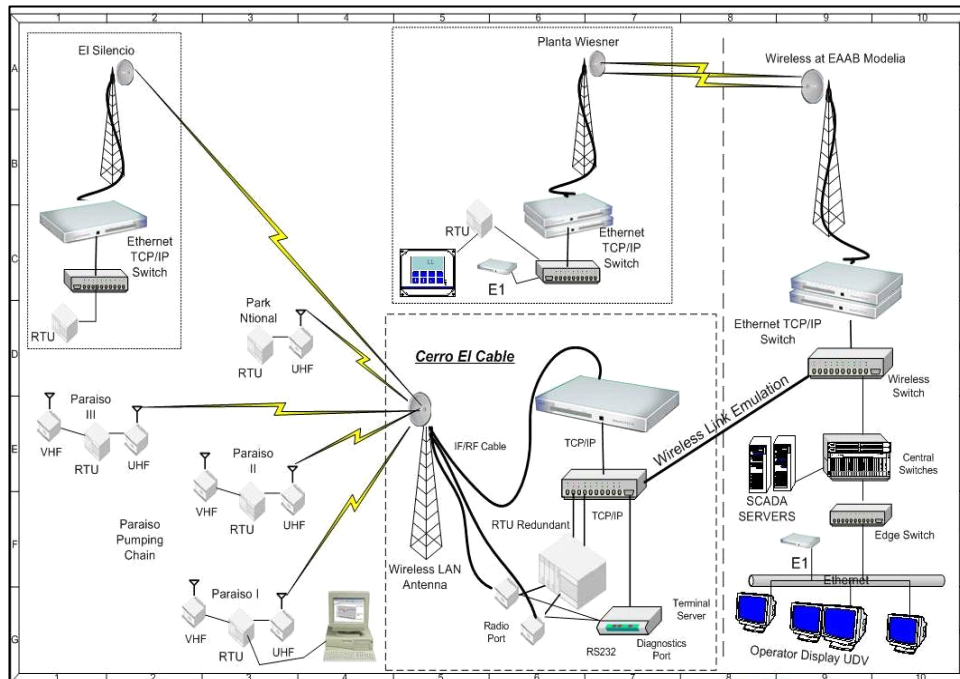
**Figura 2-10 Niveles de control – Arquitectura**



### 2.2.7 Sistema de interconexión y red de datos

La **Figura 2-11** ilustra en forma resumida la configuración total del sistema de control de la EAAB, donde se visualiza la interconexión de los diferentes componentes a través de las redes de telecomunicaciones.

**Figura 2-11 Red de interconexión - Sistema de control EAAB**





## 2.2.8 Fibra óptica

La implementación de un enlace de fibra óptica entre la PTAR CANOAS, CENTRO DE CONTROL MODELIA Y CENTRO NARIÑO, es una alternativa tecnológica que se debe evaluar con respecto a los siguientes aspectos:

- Ingeniería
- Instalación
- Configuración y puesta en marcha
- Disponibilidad
- Seguridad
- Rendimiento
- Precio

### 2.2.8.1 Ingeniería

La labores asociadas con la ingeniería de un proyecto de fibra óptica se basan en tres elementos: tipo de fibra óptica, electrónica, y disponibilidad de canalización; de estos tres elementos el que más complejidad representa en esta labor es la canalización. Si bien la EAAB tiene redes canalizadas para sus servicios de agua y alcantarillado, estas redes ya están construidas y son redes enterradas, por lo que las ventajas de su aprovechamiento son nulas, ya que para implementar los enlaces de fibra óptica requeridos, tendrían que realizarse canalizaciones paralelas que implican labores de obra civil de gran magnitud si se tiene en cuenta que son trayectos urbanos, para lo cual se debe contar con mapas actualizados no solo de las redes de agua y alcantarillado si no de energía, telefonía, gas, televisión, etc.. Normalmente la obtención de esta información es muy compleja y por lo general no está bien documentada y actualizada, por lo que se presentarían grandes dificultades durante su implementación lo cual implicaría a la empresa tener que exigir pólizas de alto costo para garantizar la responsabilidad civil de los cortes de servicios al usuario.

### 2.2.8.2 Instalación

El enlace de la PTAR CANOAS con Centro de Control Modelia y Centro Nariño, puede requerir el tendido de aproximadamente 40 km de fibra óptica por calles y avenidas de la ciudad, adicionalmente y con el fin de cumplir con los niveles de disponibilidad solicitados, puede ser necesario hacer un tendido que permita construir un anillo de fibra óptica, duplicándose así a 80 km de fibra a instalar. La instalación de la fibra óptica es una labor sencilla si se dispone de canalización, es decir ductos o tubos con espacios suficientes para albergar el cable de fibra óptica, sin embargo este no es el caso para la EAAB y de acuerdo a lo mencionado anteriormente, es necesario realizar obras civiles, solicitar permisos y disponer de la información cartográfica. Este proceso de instalación puede tardar meses y hasta años si no se cuenta con gran cantidad de personal para minimizar el tiempo, información precisa para minimizar los riesgos de obstrucciones, rupturas de tuberías de otros servicios, etc., y contar con un excelente gestor de permisos con entidades gubernamentales y privadas.

Un proyecto de fibra óptica de esta magnitud sería justificable solamente si los servicios que se vayan a prestar requieran cubrir una gran población de usuarios como ocurre con los operadores de

telefonía, TV cable, internet, celulares, etc. Para el caso de este proyecto las necesidades son muy puntuales (conectar PTAR CANOAS con Centro Nariño y Centro de Control, solo tres usuarios) y no se observa que en la ruta de estos enlaces de fibra óptica existan otras estaciones de la EAAB que se puedan conectar como para justificar el proyecto.

### **2.2.8.3 Configuración y puesta en marcha.**

Específicamente la fibra óptica no requiere de esta actividad, sin embargo la electrónica, es decir, los equipos terminales de fibra óptica, si implican una labor de configuración y puesta en operación similar al de otras tecnologías como radio microondas.

### **2.2.8.4 Disponibilidad – fibra óptica vs. radio microondas**

La fibra óptica por su naturaleza ofrece un nivel de disponibilidad en teoría del 100%, sin embargo generalmente está expuesta a roturas cada vez que se intervengan las canalizaciones de agua y alcantarillado o de otros servicios. Se podría concluir que con los avances tecnológicos en los sistemas de radio, hoy en día los niveles de disponibilidad de la fibra y el radio no son diferenciables en la toma de decisiones para seleccionar esta tecnología.

### **2.2.8.5 Seguridad - fibra óptica vs. radio microondas**

La fibra óptica es un medio de transmisión totalmente seguro y es muy difícil de intervenir o monitorear una comunicación, ya que se requiere de trabajos que son evidentes de detectar. Los sistemas digitales de radio comunicaciones hoy en día también ofrecen una alta complicación para ser intervenidos, solamente con equipos muy sofisticados y personal calificado sería posible realizar esta labor, por lo que tampoco es un elemento determinante en la selección de una u otra tecnología.

### **2.2.8.6 Rendimiento - fibra óptica vs. radio microondas**

La capacidad de la fibra óptica es ilimitada, sin embargo la limitación está a nivel de los equipos terminales; a mayor capacidad mayor costo. A nivel de equipos de radio también se pueden encontrar sistemas de hasta 400 Mbps. Si las necesidades de la EAAB para implementar el enlace de la PTAR CANOAS fueran superiores a 400 Mbps, podría decirse que la fibra óptica sería la tecnología a escoger, pero la realidad es que los requerimientos no superan los 28 Mbps y con la selección de un radio de 50 Mbps con posibilidad de crecer hasta 200 Mbps sería más que óptima su utilización.

### **2.2.8.7 Precio - fibra óptica vs. radio microondas**

Los aspectos fundamentales para analizar más que el precio, el costo beneficio de la fibra óptica, prácticamente se centran en la distancia, cantidad de usuarios y capacidad de transmisión. Según análisis de expertos, una inversión en fibra óptica considerando que los costos más altos son los de la canalización, se justifica para grandes distancias cuando se trata de llevar alta capacidad a un gran número de usuarios que no pueda ser soportada por un sistema de radio. En este orden de ideas y teniendo en cuenta la dificultad de evaluar económicamente la implementación de un enlace de fibra óptica por considerarse más una labor de la ingeniería civil, se podría determinar que si los sistemas de radio cumplen con los requerimientos de capacidad y cubrimiento de los tres usuarios a servir, probablemente el análisis costo beneficio sería más favorable a los sistemas de radio.

## 2.2.9 Conclusiones sobre las alternativas tecnológicas

Analizadas las diferentes tecnologías y sistemas de comunicaciones que utiliza la EAAB, en resumen se pueden definir las siguientes:

- Sistemas de UHF/VHF
- Sistemas de microondas banda no licenciada
- Sistemas de microondas banda licenciada
- Sistemas celulares GPRS
- Sistemas de radio móvil Trunking 800 MHz
- Sistema de Fibra Óptica.

Teniendo en cuenta los criterios de diseño especificados por la EAAB, en especial el que sugiere la compatibilidad e integración a los sistemas e infraestructura existente, se considera pertinente escoger la tecnología más óptima de las utilizadas por la EAAB para el enlace entre PTAR Canoas y Centro de Control Modelia.

De acuerdo con la capacidad estimada que se necesita para llevar los diferentes servicios de comunicaciones preliminarmente definidos y calculados en el numeral 2.1.3, adicionando a esto las necesidades de confiabilidad y disponibilidad del sistema y la experiencia de la calidad de operación de los sistemas actuales, esta consultoría recomienda utilizar la tecnología denominada “Sistemas de microondas banda licenciada”, decisión que se basa principalmente en los criterios de diseño especificados por la EAAB, en especial el que sugiere la compatibilidad e integración a los sistemas e infraestructura existente; adicionalmente, esta tecnología es la que mejor garantiza el cumplimiento con los parámetros de capacidad, confiabilidad y disponibilidad del sistema, sumándose a esto la experiencia que tiene la EAAB sobre la misma en cuanto a calidad de operación de los sistemas actuales y ciclo de vida útil. (La EAAB tiene enlaces de microondas licenciados en bandas de 7 y 2 GHz, con cero segundos de indisponibilidad en un período de más de 15 años). De acuerdo con esto, las características técnicas determinadas para este tipo de sistemas son las siguientes:

- Banda de frecuencia: 7 o 13 GHz licenciada, por las distancias de los enlaces.
- Configuración: Protegida (1+1), Indoor / Outdoor para mayor disponibilidad del sistema
- Capacidad: 34 a 50 Mbps
- Ancho de banda: 28 MHz
- Interfaces: IP / E1 para servicios de datos y voz, sistemas convergentes.

Adicionalmente, para cubrir las necesidades de comunicaciones de mantenimiento y operación en campo, se recomienda integrarse al “Sistema de Radio Móvil Trunking 800 MHz” existente, mediante la implementación de una estación base en el Centro de Control de la PTAR Canoas y la adquisición de equipos móviles y portátiles, de acuerdo con la cantidad de personal que atenderá estos servicios. También se determina que internamente en la PTAR, deberá construirse una red LAN para concentrar e integrar los servicios de Voz /IP, datos administrativos y sistemas de seguridad.

## 2.3 Alternativas de enlaces

Siguiendo las directrices establecidas por la EAAB, en cuanto a buscar un sitio de repetición entre las distintas estaciones repetidoras existentes que haga enlace con el Centro de Control Modelia y la PTAR Canoas, y la de un enlace directo entre la PTAR y el Centro de Control Modelia, se analizó la viabilidad de varios enlaces considerando como característica esencial para su implementación la existencia de línea de vista. Para esto, se utilizaron perfiles del terreno sin tener en cuenta la curvatura, tomados de Google Earth. Los enlaces escogidos serán los que se consideren para realizar los estudios de propagación y diseño del sistema de telecomunicaciones.

### 2.3.1 Enlaces directos

Se considera analizar la viabilidad de dos enlaces directos, uno con Centro de Control Modelia y el otro con Centro Nariño. Es importante tener en cuenta que la PTAR Canoas debe estar integrada con Centro Nariño a nivel de comunicaciones corporativas.

#### 2.3.1.1 PTAR Canoas – Centro de Control Modelia

Este enlace se descarta del estudio ya que a una distancia desde la PTAR de 2,57 km presenta obstrucción de 72 m., lo que implicaría torres de alturas mayores a 100 m, si se considerara la curvatura de la tierra. La **Figura 2-12** muestra un perfil de esta alternativa.

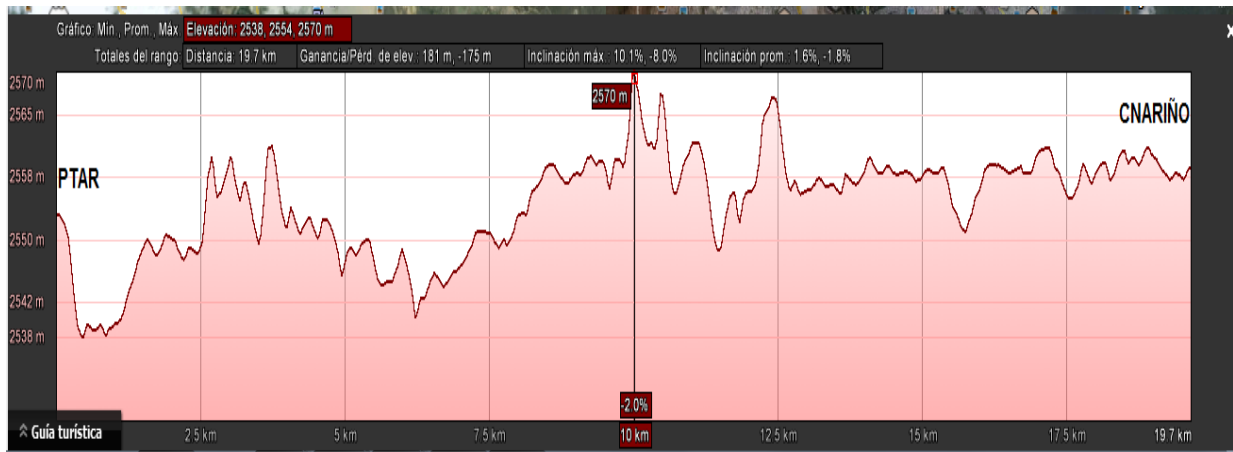
**Figura 2-12 Perfil sin curvatura de la alternativa de enlace PTAR Canoas – Centro de Control Modelia**



#### 2.3.1.2 PTAR Canoas – Centro Nariño

Este enlace presenta la mayor obstrucción a 10 km de distancia, de 15 m de altura. Podría evaluarse calculando unas torres que superen la obstrucción; sin embargo, es un enlace crítico ya que es rasante y atraviesa una buena parte de zona urbana que puede tener cambios en el futuro. No se recomienda su estudio por que no garantiza la confiabilidad del diseño. La **Figura 2-13** muestra un perfil de esta alternativa.

**Figura 2-13 Perfil sin curvatura de la alternativa de enlace PTAR Canoas – Centro Nariño**



## 2.3.2 Enlaces a través de repetidoras

### 2.3.2.1 PTAR Canoas – Sierra Morena

Este enlace amerita un estudio de propagación ya que preliminarmente tiene línea de vista. Sin embargo, es necesario realizar visitas de reconocimiento para analizar obstáculos cercanos en Sierra Morena y trazar su perfil más detallado con mapas a menor escala del IGAC. La **Figura 2-14** muestra un perfil del terreno para esta alternativa.

**Figura 2-14 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Sierra Morena**



### 2.3.2.2 PTAR Canoas – Cerro Suba

El enlace presenta una obstrucción de 40 m de altura a una distancia de 2,25 km. Se tendrá en cuenta en el estudio de propagación para determinar su viabilidad. La **Figura 2-15** muestra el perfil del terreno para esta alternativa.

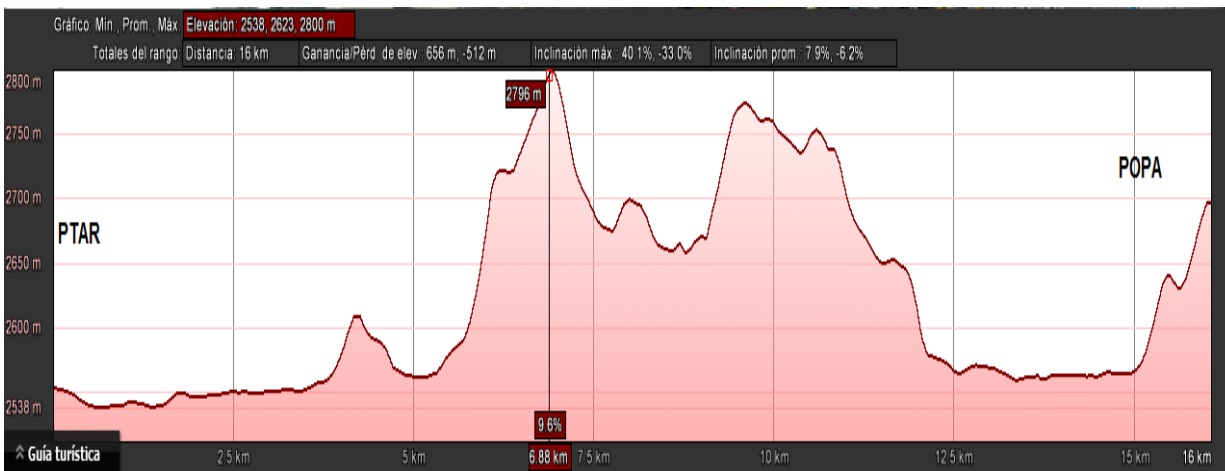
**Figura 2-15 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Cerro Suba**



### 2.3.2.3 PTAR Canoas – Cerro Popa

Enlace obstruido a 6.88 Km con altura de 200 m, la obstrucción corresponde a Sierra Morena, no es viable y no se realizaran estudios de propagación. La **Figura 2-16** muestra el perfil del terreno para esta alternativa.

**Figura 2-16 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Cerro Popa**



### 2.3.2.4 PTAR Canoas – Alto del Cable

Enlace completamente sin obstrucción, viable para estudio. Sin embargo, de acuerdo con el criterio del Jefe de Mantenimiento Táctico del Centro de Control, el Alto del Cable representa muchas dificultades logísticas para las operaciones de mantenimiento, como es el estado de la vía de acceso, el tiempo de viaje, los permisos que hay que tramitar con la policía, entre otros, circunstancias que vuelven el sistema poco confiable para garantizar la disponibilidad requerida por la EAAB. El análisis de esta opción deberá definirse conjuntamente con la Interventoría y EAAB. La **Figura 2-17** muestra el perfil de esta opción.



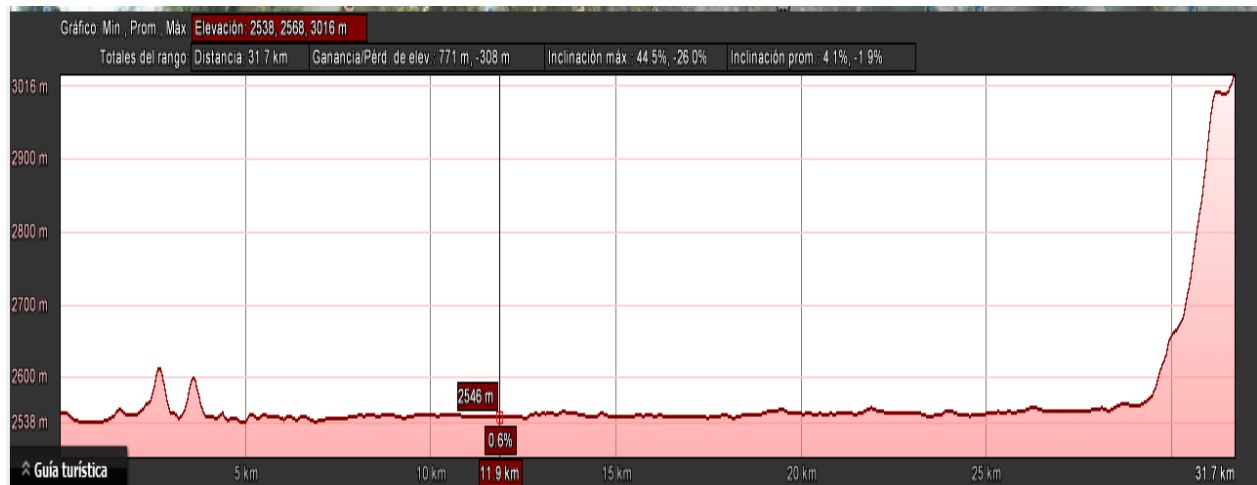
**Figura 2-17 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Alto del Cable**



### 2.3.2.5 PTAR Canoas – Cerro Samper

Este enlace puede ser viable. Sin embargo, presenta algunas obstrucciones de 55 m de altura a una distancia de 2,5 km. Se podría considerar en el estudio, en caso de no ser viables los enlaces que se vayan a estudiar. La **Figura 2-18** muestra el perfil del terreno para esta alternativa.

**Figura 2-18 Perfil sin curvatura de la alternativa PTAR Canoas – Cerro Samper**



### 2.3.3 Conclusiones sobre las alternativas de enlaces

Los enlaces de microondas que en un análisis preliminar permiten determinar una mayor viabilidad técnica, son los siguientes:

- Alternativa # 1
  - PTAR Canoas – Sierra Morena
  - Sierra Morena – Centro de Control Modelia
  - Sierra Morena – Centro Nariño

- Alternativa # 2
  - PTAR Canoas – Cerro Suba
  - Cerro Suba – Centro de Control Modela
  - Cerro Suba – Centro Nariño

Las dos alternativas consideran un enlace con Centro Nariño en razón a que la PTAR Canoas requiere interconectar con esta sede, los servicios de telefonía e informática para tener un sistema integral de comunicaciones.

En el Anexo 3 – Topología, se muestra la ubicación geográfica de los sitios involucrados en cada una de las alternativas a estudiar.

## Sección 3

### Evaluación técnica

En esta sección se presenta la evaluación técnica de las dos alternativas tecnológicas escogidas, desarrollándose las siguientes actividades con el fin de determinar la factibilidad de implementación de las mismas:

- Visita a los sitios (Site Survey)
- Definición de la topología del sistema
- Definición de la frecuencia de operación
- Levantamiento de perfiles topográficos, línea de vista, difracción, reflexión multi-trayectoria
- Cálculos y memorias de los estudios de propagación

#### 3.1 Visita a los sitios

Esta actividad fue de vital importancia para obtener los suficientes datos que permitirán concluir la viabilidad de implementación de los enlaces de microondas y sus costos asociados.

Para cubrir las dos alternativas, se visitaron los siguientes sitios involucrados en la solución técnica del sistema de comunicaciones de la PTAR Canoas con Centro de Control Modelia y Centro Nariño:

- Sitio de localización de la PTAR Canoas
- Centro de Control Modelia
- Centro Nariño
- Sierra Morena
- Cerro Suba.

Durante estas visitas se tomaron datos y fotografías contenidas en los formularios incluidos en el Anexo 1 del presente informe, los cuales se describen a continuación:

- Información general: Permite identificar el proyecto, el cliente, la ubicación, los teléfonos y las personas de contacto.
- Coordenadas y altura: Se consigna los datos de coordenadas y alturas medidas en los sitios, el equipo utilizado, la conversión a coordenadas X, Y para el trazado de perfiles en mapas de 1:25.000, referencias de ubicación y comentarios.
- Acceso al sitio: Se indica la población o sitio de referencia más cercano, la distancia, el tiempo de viaje y comentarios. Esta información es utilizada para calcular los tiempos de atención de fallas y los niveles de disponibilidad del sistema.

- **Obstáculos cercanos:** Se consigna las coordenadas y alturas de los obstáculos cercanos que se pueden visualizar con el fin de complementar los datos de los perfiles topográficos.
- **Infraestructura y facilidades del sitio:** Permite determinar la existencia de espacio para ubicación de equipos, torres para antenas, sistemas de fuerza, protecciones, bastidores, bandejas portacables y demás servicios, que permitan evaluar el grado de acondicionamiento del sitio y por lo tanto calcular los costos reales de implementación del sistema.
- **Condiciones ambientales:** Se consignan los datos referentes al clima y terreno que permitirán incluirlos en los estudios de factibilidad de los enlaces y asegurar con mayor grado de confiabilidad la calidad del enlace calculado.
- **Reseña fotográfica:** Incluye fotografías de los sitios y sus instalaciones, documentación útil para el análisis visual de las condiciones en general de cada sitio.

Como conclusión general de estas visitas, se pueden resaltar los siguientes aspectos de cada uno de los sitios:

### 3.1.1 PTAR Canoas

El sitio actualmente sólo está referenciado en mapas y no cuenta con infraestructura de comunicaciones. Sin embargo, como parte del diseño a ejecutar dentro de este proyecto, deberán considerarse las adecuaciones y espacios para los equipos de comunicaciones, torre para antenas, sistema de alimentación, ductos, escalerillas portacables y demás facilidades que requieran los equipos y que sólo podrán determinarse con el diseño detallado del sistema.

Conjuntamente con los análisis que conducirán a las alternativas de lay-out de la planta, a ejecutarse en el Producto 3, se definirán las opciones de ubicación de la torre de antenas.

### 3.1.2 Centro de Control Modelia

Instalaciones modernas, ubicadas en el barrio Modelia de Bogotá, cuenta con la infraestructura civil, torres y sala de equipos; para el proyecto deberá adecuarse y mejorar la sala de equipos, incluir bastidores, sistema de alimentación con baterías de respaldo y protecciones.

Los obstáculos cercanos detectados en los diferentes azimut de los enlaces se han tenido en cuenta en el análisis del perfil topográfico y la línea de vista del enlace.

### 3.1.3 Centro Nariño

Instalaciones ubicadas en el barrio Centro Nariño, oficinas principales de la EAAB. En el séptimo piso se encuentra la sala de equipos; cuenta con sistemas de fuerza, protecciones, bastidores y torre de comunicaciones. Sin embargo, los equipos de microondas existentes que podrían utilizarse para el proyecto ya finalizaron el tiempo de vida útil y están saturados de carga de servicios, por lo que se recomienda implementar nuevos equipos para el proyecto PTAR Canoas.

No se detectaron obstáculos cercanos, pero se considerará en el perfil topográfico las diferentes construcciones, edificios e infraestructura relevante que afecte la línea de vista.

### 3.1.4 Sierra Morena

Sitio de repetición de propiedad de la EAAB, ubicado en el barrio Sierra Morena, al sur de Bogotá, cerca de Ciudad Bolívar. El sitio cuenta con salón de equipos adecuado, con todas las facilidades, torres de antenas, protecciones, etc. Los equipos de microondas existentes ya cumplieron su ciclo de vida útil y están saturados de servicios, por lo que se recomienda instalar nuevos equipos para el proyecto PTAR Canoas.

### 3.1.5 Cerro Suba

Sitio de repetición de propiedad de la EAAB, ubicado en el barrio Altos de Suba, de Bogotá. El sitio cuenta con salón de equipos adecuado con todas las facilidades, torre de antenas, protecciones, etc. Los equipos de microondas existentes ya cumplieron su ciclo de vida útil y están saturados de servicios, por lo que se recomienda instalar nuevos equipos para el proyecto PTAR Canoas.

En el Anexo 2 se consigna en detalle todos los aspectos relativos a la infraestructura existente y los requerimientos para los nuevos equipos.

## 3.2 Topología del sistema

El sistema de comunicaciones para las dos alternativas tendrá una topología tipo “estrella”, donde los nodos principales serán Sierra Morena o Cerro Suba, desde los cuales la PTAR Canoas podrá interconectarse con el Centro de Control Modelia y con el Centro Nariño.

En el Anexo 3 se puede observar la ubicación de cada uno de los sitios, las coordenadas, distancias y azimut relativo al norte. Este tipo de topología garantiza en el tiempo la confiabilidad de los enlaces por las diferencias de alturas respecto a los puntos nodales, evitando obstrucciones por nuevas construcciones y desvanecimientos de la señal por efectos de reflexiones y multi-trayectorias.

## 3.3 Frecuencia de operación

Los radioenlaces de microondas operan en diversas bandas de frecuencias, desde la banda de 2 GHz hasta 38 GHz o más. El criterio de escogencia de la frecuencia de operación de un radio enlace se basa en la distancia, teniendo en cuenta las características físicas de propagación de las frecuencias, donde a mayor frecuencia mayor atenuación, y las recomendaciones de las Normas ITU-R y del Ministerio de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, en cuanto a planes de atribución de frecuencias.

Teniendo en cuenta que los radioenlaces a estudiar son enlaces fijos, de corta distancia, la mayoría menores a 10 km, se ha considerado realizar los estudios de factibilidad en banda de 13 GHz, banda que se asigna a este tipo de enlace; alternativamente, también se realizarán estudios en la banda de 7 GHz, que, aunque generalmente se asigna a enlaces largos de más de 25 km, tiene la ventaja de que la EAAB actualmente dispone de licencias en esta banda que podrían ser aprovechadas.

### 3.3.1 Monitoreo de frecuencias.

Para efectos de definir las frecuencias de operación de los radioenlaces que se vayan implementar, es necesario realizar un monitoreo de frecuencias y análisis de interferencias. Normalmente esta actividad la realiza el proveedor de los equipos durante la etapa de diseño final y es recomendable que así sea por cuanto el manejo del espectro radio eléctrico es muy dinámico, y en el lapso de seis meses

o un año pueden haber cambiado las condiciones de disponibilidad e interferencias de las frecuencias monitoreadas. Adicionalmente, para este análisis es muy importante contar con las características propias de los equipos a instalar para que su resultado sea altamente confiable. Por lo anterior es recomendable que en las especificaciones técnicas de los pliegos de condiciones correspondientes, se incluya esta actividad como parte de la ingeniería que debe desarrollar el proveedor.

### 3.3.2 Gestión de permisos del uso de frecuencias

El uso del espectro radio eléctrico está controlado y normalizado por el Ministerio de las TIC (MINTIC), por lo que toda persona natural o jurídica debe solicitar a esta entidad la asignación o cambio de las frecuencias que necesite. Para efectos del proyecto de la PTAR CANOAS, se prevé que la EAAB deberá realizar esta solicitud con base en las leyes y decretos que regulan este proceso y que se indicaron en el numeral 2.1.2.3.

El proceso de gestión de los permisos de uso de las frecuencias lo debe realizar directamente la EAAB a través de su apoderado. Dentro de este proceso se requiere estar a paz y salvo con el MINTIC, solicitar las frecuencias requeridas mediante el diligenciamiento de los formularios correspondientes, anexar la información técnica necesaria como hojas técnicas de los equipos y antenas a instalar, justificar el uso de las mismas y presentar los resultados del monitoreo de frecuencias y análisis de interferencias. Una vez radicados estos documentos, el MINTIC los evalúa y realiza una subasta pública de las frecuencias solicitadas, para determinar qué otra entidad o persona puede estar interesada en obtener estas frecuencias para los servicios requeridos, y de no existir otro interesado, el MINTIC adjudica las frecuencias y aprueba la resolución de las licencias correspondientes.

Se recomienda incluir dentro del pliego de especificaciones técnicas para la implementación del enlace de la PTAR CANOAS, la actividad por parte del proveedor para que realice un acompañamiento y asesoría al apoderado designado por la EAAB para gestionar los permisos ante el MINTIC.

## 3.4 Perfiles topográficos – línea de vista

Con el fin de determinar las mínimas alturas de antenas para que el radioenlace pueda tener garantizada la línea de vista, se realizó el levantamiento de los perfiles con base en los siguientes criterios y datos:

Selección de mapas con curvas de nivel, obtenidos en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en escala de 1:25.000, a fin de visualizar con mejor resolución las curvas de nivel y obstáculos. En el Anexo 4 se incluyen los mapas cartográficos utilizados.

- Verificación y confirmación de coordenadas mediante ubicación de los sitios en los mapas del IGAC y la aplicación Google Earth, la cual permite visualizar información más actualizada.
- Tabulación de alturas versus distancia, incluyendo estructuras, árboles, lagos y demás elementos que afecten el perfil.

Utilizando el software PATHLOSS Versión 3.0, herramienta utilizada para realizar los cálculos de propagación y determinación de la línea de vista y alturas de antenas de un radioenlace, se genera el perfil topográfico. Esta herramienta basa sus algoritmos de predicción con base en las recomendaciones de la Norma ITU-R que en este tema específico establece que un radioenlace tiene

línea de vista cuando el 60% de la primera zona de fresnal no está obstruida, para una factor K de curvatura de la tierra equivalente a  $4/3$ .

El software PATHLOSS utilizando el perfil topográfico también permite realizar análisis de pérdidas por difracción, reflexión y multi-trayectoria.

En el Anexo 4 se encuentran los perfiles de los diferentes enlaces en estudio generados en las bandas de 7 y 13 GHz, acompañados de un cuadro resumen con coordenadas, altura sobre el nivel del mar, alturas de antenas, línea de vista, etc.

## 3.5 Cálculos de propagación – confiabilidad del sistema

### 3.5.1 Consideraciones para el cálculo y comportamiento del sistema

Para la evaluación de la calidad de los sistemas se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones, en el procedimiento del cálculo:

- Proporción de bits erróneos conforme a la Recomendación 634 y objetivos de calidad del sistema, informe 930 del ITU-T.

El objetivo de confiabilidad acogido es el recomendado por el ITU-R que establece que la confiabilidad esperada para enlaces cortos de menos de 400 km (o 250 millas de distancia), se calcula mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$4 \times d, \text{ segundos/año}$$

Dónde:

d = distancia del enlace

Para un BER de  $10E-3$

Esta confiabilidad se reducirá en épocas de lluvia y se ha calculado que su índice estará en 99,999%, equivalente a 315 segundos de indisponibilidad del sistema por año, lo cual es muy aceptable para el tipo de servicio.

- Estimación de la probabilidad de ocurrencia de Fading (F.O.P.) Desvanecimiento. Informe 338-5 del ITU-T.

Se utilizó el método de Vigants Barnett, con un factor de clima = 1 correspondiente a condiciones de propagación promedio.

- Distribución de la intensidad de lluvia ITU-T, Informe 563-3, Cuadro No. 1

Se utilizó el método Crane, región de lluvias para Colombia, Bogotá Tipo G (tropical moderado).

En el Anexo 5 se enumeran y describen los diferentes aspectos técnicos definidos y asumidos para realizar los cálculos de propagación, adicionales a los aquí mencionados.

En el Anexo 6 se encuentran las memorias de los resultados de los cálculos de propagación realizados para cada enlace, en las bandas de 7 y 13 GHz, con su cuadro resumen de resultados.



### 3.5.2 Cálculos de disponibilidad del sistema

La disponibilidad del sistema está determinada por las características físicas y calidad de fabricación de los equipos, determinada mediante el factor denominado MTBF (tiempo medio entre fallas de un equipo), y que normalmente para el tipo de sistemas objeto de estudio puede ser del orden de las 100.000 horas. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el factor MTR (tiempo promedio para reestablecer el sistema), el cual está relacionado con el tiempo de viaje al sitio y la disponibilidad de repuestos. Para el peor de los casos, cuando se considera que no se tienen repuestos y se necesite reemplazar el equipo, este tiempo de MTR podría ser de 4 días típicamente, teniendo en cuenta autorizaciones, permisos, instalación y desinstalación del enlace.

De acuerdo con los criterios de diseño se ha establecido por la EAAB una disponibilidad del 99,9% que implicaría la utilización de sistemas redundantes, tal como se demuestra en los cálculos realizados e incluidos en el Anexo 7.

### 3.5.3 Características estándar del equipo

Para efectos de determinar la factibilidad técnica de los enlaces, se han considerado las características estándares de un equipo de radio microondas digitales en banda licenciada, con una capacidad de tráfico de 50 Mbps, para los servicios requeridos.

En el Anexo 8 se describen las características técnicas asumidas para los cálculos de propagación, basados en un equipo típico de esta naturaleza.

### 3.5.4 Cálculos de consumo de energía

Los cálculos de consumo de energía permiten dimensionar el sistema de alimentación de los equipos en cada sitio. Los cálculos tienen en cuenta los consumos típicos de todos los equipos involucrados en los sistemas de comunicaciones, la autonomía que deberán tener los bancos de baterías, típicamente establecida en 8 horas para la EAAB, con 12 horas de tiempo de carga y una reserva futura del 30%.

En el Anexo 9 se establece la carga total de cada sitio para obtener un resultado final respecto a la capacidad del cargador de baterías en Amp. y del banco de baterías en Amp. / hora, así como los BTU que generaría el sistema para los diseños de los sistemas de aire acondicionado.

### 3.5.5 Diagramas en bloque

En el Anexo 10 se ilustra como parte de la ingeniería básica del sistema de comunicaciones, los componentes e interconexiones de los equipos para los sitios de repetición y los sitios terminales.

## 3.6 Resultados de la evaluación técnica.

En los anexos 6 y 7 se puede observar que las dos alternativas en estudio cumplen con los requerimientos técnicos de confiabilidad y disponibilidad; en el cuadro resumen del ANEXO 6 correspondiente a los estudios de propagación, se ilustra cómo todos los enlaces calculados dan como resultado más del 99.999% de confiabilidad por año, superando ampliamente los criterios de diseño establecidos por la EAAB y adoptados en este estudio como los parámetros indicativos para determinar la viabilidad del sistema. Igualmente en el cuadro de cálculos de disponibilidad incluido en

el Anexo 7 se demuestra que implementando un sistema redundante se puede cumplir con los criterios de diseño establecidos por la EAAB en 99.9% por año.

## Sección 4

### Evaluación económica

Con base en los resultados de los estudios de propagación y las visitas a los sitios, en el Anexo 11 se describen todos los componentes del sistema para cada uno de los sitios involucrados, incluyendo los servicios técnicos, adecuaciones y torres. Los resultados económicos para las dos alternativas, indican que este no será un aspecto determinante para su selección, si bien la alternativa #1 es más económica por menor requerimiento en altura de torres y diámetros de antenas, para efectos de evaluación económica se ha presupuestado las mismas alturas para las dos alternativas ya que se tiene la incertidumbre de la ubicación final de la PTAR CANOAS, aspecto altamente determinante en las alturas de las torres. El presupuesto se realizó con base en precios del mercado y precios referenciales de compra de la EAAB para este tipo de sistemas.

## Sección 5

# Conclusiones y recomendaciones

Los estudios y análisis de las diferentes alternativas, permiten llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. Se recomienda utilizar la tecnología basada en sistemas de radio microondas en banda licenciada, por ser una tecnología de alta confiabilidad y disponibilidad, debido a que por ser sistemas de banda licenciada, no estarán expuestos a interferencias que puedan degradar la calidad del servicio. Además, las herramientas de software para realizar los cálculos y estudios de propagación, permiten realizar un diseño con una alta probabilidad de éxito en la operación; adicionalmente, los fabricantes y diseñadores de este tipo de tecnología tienen una alta experiencia y conocimiento de más de 100 años de investigaciones, logrando actualizaciones tecnológicas acorde con las nuevas necesidades del mercado. En el mercado, la mayoría de equipos que se encuentran cumplen estándares y normas internacionales y son de alta calidad en cuanto a sus materiales, vida útil y MTBF.
2. Las bandas de frecuencia recomendadas para operar estos sistemas corresponden a las bandas de 7 y 13 GHz. Se realizaron estudios para las dos bandas de frecuencia sin encontrar grandes diferencias en cuanto a cumplimiento de los objetivos de calidad, requerimientos de alturas de torres, diámetros de antenas y parámetros técnicos de los radios.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los enlaces son de cortas distancias, de aproximadamente 10 km, y acorde con las recomendaciones de la ITU-R en cuanto a atribución de frecuencias para sistemas de radio enlaces de microondas, se recomienda utilizar como primera opción la banda de 13 GHz, en la cual actualmente la EAAB ya tiene algunos enlaces en operación, con un buen resultado. La banda de 7 GHz se podría utilizar como segunda opción en caso de que el Ministerio de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones no tenga frecuencias disponibles en 13 GHz. En esta banda también la EAAB tiene en operación algunos sistemas; sin embargo, es una banda que se reserva especialmente para enlaces largos de más de 25 km. Es importante anotar que la banda de 7 GHz es más estable y el comportamiento de los enlaces se afecta menos por el factor lluvias; sin embargo, los estudios realizados en la banda de 13 GHz aseguran una alta confiabilidad del sistema con los tipos de antenas y radios escogidos.

3. Se plantearon dos alternativas desde el punto de vista de la topología del sistema: La Alternativa 1 utilizando el sitio de repetición de Sierra Morena y la Alternativa 2, utilizando el sitio de repetición de Cerro Suba, ambos sitios de propiedad de la EAAB, bien adecuados con toda la infraestructura requerida para la implementación de nuevos sistemas.

Los estudios determinan que las dos alternativas son viables por los siguientes aspectos:

- Cumplen con el requerimiento de la línea de vista.
- Cumplen con los objetivos de calidad.

- Confiabilidad = 99,999%
- Disponibilidad = 99,9%
- Las diferencia económica entre las dos alternativas no es un aspecto determinante para su selección, si bien la alternativa #1 es más económica por menor requerimiento en altura de torres y diámetros de antenas, para efectos de evaluación económica se ha presupuestado las mismas alturas para las dos alternativas ya que se tiene la incertidumbre de la ubicación final de la PTAR CANOAS, aspecto altamente determinante de las alturas de las torres.
- Cumplen con el criterio planteado de utilizar al máximo la infraestructura de la EAAB.

Sin embargo, se considera que la Alternativa 1, utilizando como sitio de repetición a Sierra Morena, es más ventajosa que la Alternativa 2, por las siguientes consideraciones:

- El enlace de la PTAR Canoas con Sierra Morena es mucho más corto que con Cerro Suba. Mientras el primero es de 10 km, el segundo es del orden de 26 km.
  - Los enlaces largos tienen algunas implicaciones en cuanto a los requerimientos de los equipos, como antenas un poco más grandes, mayores probabilidades de fallas en la propagación por multi-trayectorias y lluvia.
  - El tiempo de desplazamiento en caso de fallas, es mayor con Cerro Suba, incidiendo en el objetivo de calidad respecto a la disponibilidad del enlace.
  - El enlace con Cerro Suba exige mayor altura de antenas y por lo tanto, incide en la altura de la torre de la PTAR Canoas; con Sierra Morena la altura máxima es de 10 m y con Cerro Suba de aproximadamente 40 m. Si bien en la evaluación económica se ha considerado presupuestar una torre de 40 m en la PTAR CANOAS para las dos alternativas, en razón de que no se tiene definido con exactitud la ubicación de la torre, es posible que durante su implementación ésta pueda ser de menor tamaño y por lo tanto de menor costo para la alternativa #1.
4. Se recomienda implementar un enlace con Centro Nariño con el fin de cumplir con los requisitos de integración de todos los servicios con la sede principal de la EAAB, como son los servicios de telefonía e informática.
  5. Los equipos escogidos permitirán integrar todos los servicios de datos y voz, por lo que su diseño corresponderá a una tecnología de convergencia IP y TDMA (E1).
  6. Para garantizar los objetivos de calidad será necesario seleccionar equipos protegidos en caliente (MHSB), con alto MTBF de más de 100.000 Horas.
  7. El sistema debe incluir equipos que permitan integrar todos los servicios de voz y datos como Switch Ethernet o Routers.

## Sección 6

# Análisis de amenaza y vulnerabilidad de la infraestructura existente

Para el análisis del grado de amenaza y vulnerabilidad de la infraestructura existente, se consideraron los elementos esenciales que serán utilizados para implementar el sistema de comunicaciones de la PTAR Canoas, los cuales son:

- Torres de antenas
- Casetas para equipos
- Sistema eléctrico (AC)
- Vías de acceso

Del análisis se descartaron los equipos de radio existentes y los sistemas de alimentación de DC, considerando que la mayoría son equipos de muchos años de servicio, con su capacidad totalmente utilizada, tecnología desactualizada y se tiene dificultades para la obtención de repuestos.

Para los elementos componentes de la infraestructura utilizable de la EAAB que se describieron anteriormente, se determinaron los peligros y aspectos de criticidad calificándolos cuantitativamente de 1 a 5, desde malo hasta bueno, con el fin de obtener una visión objetiva del resultado de este análisis. En la **Tabla 6-1** se ilustran los resultados del análisis de vulnerabilidad.

**Tabla 6-1 Resumen del análisis de vulnerabilidad**

PROYECTO PTAR CANOAS - EAAB CDM SMITH ANALISIS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE SEPT. 19, 2013						
INFRAESTRUCTURA	PELIGROS / RAZONES DE CRITICIDAD	SIERRA MORENA	CERRO SUBA	C. NARIÑO	C.C. MODELIA	PTAR CANOAS
		CALIFICACION: 1=MALO; 2=REGULAR; 5=BUENO				
TORRES	CALIDAD DE LA ESTRUCTURA	5	5	5	5	N/A
	SISTEMAS DE PROTECCION	5	5	5	5	N/A
	SEGURIDAD TRABAJOS	3	3	3	5	N/A
	ALTURA REQUERIDA	5	5	5	5	N/A
	<b>PROMEDIO</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>N/A</b>
CASETAS	ESTADO DE ADECUACION	3	3	3	1	N/A
	ESPACIO DISPONIBLE	3	5	3	5	N/A
	SEGURIDAD TRABAJOS	5	5	5	5	N/A
	<b>PROMEDIO</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>N/A</b>
SISTEMA ELECTRICO (AC)	CAPACIDAD NUEVOS EQUIPOS	5	5	5	5	N/A
	PROTECCIONES	5	5	5	5	N/A
	SEGURIDAD TRABAJOS	5	5	5	5	N/A
	ADECUACIONES	3	3	3	3	N/A
	<b>PROMEDIO</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>N/A</b>
VIAS DE ACCESO	ESTADO	5	5	5	5	5
	SEGURIDAD	3	5	5	5	3
	SERVICIOS	5	5	5	5	3
	<b>PROMEDIO</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>



En esta tabla se indican los sitios, la infraestructura, los peligros y criticidad de los mismos y se realiza una evaluación cuantitativa de los mismos basada en una inspección visual, datos técnicos de los equipos y criterios basados en la experiencia.

Como resultado final de este análisis se puede concluir que la infraestructura existente está en buenas condiciones y los requerimientos de adecuación y mejoramiento serán muy mínimos.

En el Anexo 12 se incluye una descripción del procedimiento utilizado para realizar este análisis de vulnerabilidad.



# ANEXOS

# **ANEXO 1**

## **Formularios visitas de reconocimiento**

## ANEXO 2

# Cuadro resumen visitas a los sitios

# ANEXO 3

## Topología del sistema

# ANEXO 4

## Perfiles topográficos

# ANEXO 5

## Consideraciones para el cálculo de comportamiento del sistema

# ANEXO 6

## Cálculos de propagación



# ANEXO 7

## Cálculos de disponibilidad

# ANEXO 8

## Características típicas radios de microondas

# ANEXO 9

## Cálculos de consumo de energía

# ANEXO 10

## Diagramas en bloques

# ANEXO 11

## Listado de equipos, materiales y servicios

# ANEXO 12

## Procedimiento de Análisis de Vulnerabilidad