

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **Modernización de una red de comunicaciones inalámbrica para el monitoreo de la red de gas EPM en el área Metropolitana**

Elkin Mauricio Galeano Garcés

Isabel Cristina Calle Cortés

Ingeniería de telecomunicaciones

Sara Yepes

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Junio 5 de 2015**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

La modernización de la red de telecomunicaciones del gasoducto de Empresas Públicas de Medellín (EPM), tiene como objetivo principal mejorar la estabilidad de la misma y por ende lograr un monitoreo continuo y preciso de las variables de la red de gas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá; lo anterior, se logra mediante enlaces redundantes y equipos robustos con características técnicas, que incluso permiten implementar video vigilancia sobre la misma red. Para lograr el objetivo de este proyecto, se realizó una simulación de la red de microondas en un software llamado Radio Mobile, que permitió analizar la viabilidad técnica de 38 enlaces requeridos para la modernización. Posterior a la simulación, se realizaron 19 pruebas de campo en la banda de 900 MHz y 14 pruebas en la frecuencia de 5.8 GHz y según los resultados obtenidos, se procedió a hacer las variaciones pertinentes en el diseño original, en aras de entregar una red estable y confiable como lo exige la organización EPM.

*Palabras clave:* Monitoreo, Microondas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Quisiéramos agradecer en primer lugar a Empresas Públicas de Medellín, a su Unidad de Soporte a las Tecnologías de Operación y específicamente al ingeniero Walter Emilio Rodríguez, que como coordinador del proyecto, nos apoyó en su elaboración y posteriormente permitió su utilización para presentarlo como nuestro proyecto de grado para la ingeniería de Telecomunicaciones. Adicionalmente, debemos un agradecimiento a todos los docentes que con sus conocimientos han aportado el desarrollo de nosotros como profesionales y la profesora Sara Yepes, quien nos ha asesorado constantemente en aras de cumplir con los requisitos y la buena presentación del proyecto.

Finalmente, un agradecimiento especial a nuestras familias, quienes nos han apoyado desde el inicio de nuestra carrera universitaria y han estado con nosotros en todo momento, animándonos a seguir adelante con el desarrollo de la misma.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

PTP: Comunicación Punto a Punto

PMP: Comunicación Punto Multipunto

FH: Espectro ensanchado por salto de frecuencia

DS: Espectro ensanchado por secuencia directa

P.I.R.E.: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos

HTTP: Protocolo De Transferencia De Hipertexto

SNMP: Protocolo Simple de Administración de Red

SSH: Secure Shell

RTU: Unidad Terminal Remota

dB: Decibel

dBi: Decibel isotrópico

dBm: Decibel mili vatio

LFS: Pérdidas en el Espacio Libre

PTX: Potencia de transmisión en dBm

GTX: Ganancia de la antena Tx en dBi

LFTX= Perdidas en la transmisión conectores, cableado en dB

BER: Tasa de error de Bit

PTH: Potencia de Umbral

GPRS: Servicio General De Paquetes Vía Radio

APN: Access Point Name

SIMcard: Módulo de Identidad del Suscriptor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EPM: Empresas Públicas de Medellín

Telnet: Teletype Network

ICM: Industrial, Científica y Médica

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>9</b>
2.1. Definición Radioenlace.....	9
2.2. Ventajas y desventajas de un Radioenlace .....	9
2.3. Estructura de un Radioenlace .....	9
2.4. Bandas y asignación de frecuencias.....	10
2.5. Diagrama de bloques .....	12
<b>3. Metodología .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Resultados y Discusión .....</b>	<b>15</b>
4.1. Cálculos necesarios para el diseño de un Radioenlace.....	16
4.2. Comparación de los valores de Radio Mobile con los valores calculados .....	25
4.3. Distribución de enlaces Red de Gas. ....	25
4.3.1. Distribución de enlaces Multipunto red del GAS.....	25
4.3.2. Distribución de enlaces Punto a Punto red del GAS.....	27
4.4. Pruebas de campo.....	27
4.4.1. Pruebas de campo 900 MHz (Radios Freewave Htplus 900).....	28
4.4.2. Pruebas de campo 5.8 GHz (Radios ALVARION).....	29
4.4.3. Pruebas de campo 5.8 GHz (Radios RADWIN).....	30
4.5. Topología de red propuesta.....	32
<b>5. Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro.....</b>	<b>35</b>
<b>6. Referencias .....</b>	<b>37</b>
<b>7. Apéndice.....</b>	<b>38</b>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

La realización de este trabajo, nace de un proyecto hecho para Empresas Públicas de Medellín (EPM), donde se realizó un diseño para modernizar la red de telecomunicaciones con la cual se monitorea la red de gas de dicha empresa. A partir de lo anterior, se documenta el diseño desde la teoría estudiada durante la carrera, integrando conceptos de las asignaturas del área de radiocomunicaciones que permite sustentar el diseño para EPM, buscando de esta manera integrar lo teórico con lo práctico en un proyecto que sirva como fuente de consulta para los estudiantes que deseen profundizar en el área de las microondas y de base para los interesados en implementar un trabajo similar.

El proyecto de grado consiste en realizar un rediseño de la actual red de microondas por la cual se monitorea la red de gas, realizando un cambio de banda de operación, de 900 MHz a 5.8 GHz, logrando así un mayor ancho de banda disponible entre enlaces, además se requiere plantear enlaces redundantes que permitan reducir la criticidad de los puntos principales de la red. El diseño se realizó en el software de simulación Radio Mobile, con coordenadas definidas previamente de cada una de las estaciones de gas, de los cerros y torres donde se ubican las estaciones base, los resultados de las simulaciones fueron comprobadas matemáticamente para darles el enfoque académico requerido para un trabajo de grado de ingeniería.

Dentro del trabajo, también se incluye el análisis de diferentes marcas, modelos y características técnicas de equipos de microondas y antenas, que permiten establecer cuáles son los dispositivos correctos para implementar la nueva red con todos los requerimientos que exige EPM.

En síntesis, el proyecto trata de un rediseño en la red de microondas de EPM para el monitoreo de la red del gas, que los beneficiará como empresa al momento de la implementación del diseño planteado, con una favorabilidad en la prestación y administración del servicio.

## **Objetivo General**

Diseñar la red de telecomunicaciones por la cual se monitorea la red de gas de EPM del área metropolitana, para mejorar el ancho de banda, la disponibilidad y disminuir el porcentaje de fallas en la red, con la opción de agregar video vigilancia en algunas estaciones del gas.

## **Objetivos Específicos**

- Establecer la mejor banda a utilizar en el diseño de la red, de acuerdo al análisis del nivel de ruido en las bandas ICM (Industrial, Científica y Médica) 2.4 GHz, 5.0 GHz y 900 MHz, en los sitios donde van ubicados los radios de la red de Gas.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Realizar pruebas de campo para identificar cuáles de los equipos de microondas que operan en las 3 bandas libres cumplen con las necesidades del diseño y el presupuesto del proyecto.
  
- Diseñar una nueva topología física de la red de telecomunicaciones, donde se generen puntos de respaldo que garanticen un alto porcentaje en la confiabilidad del sistema (99.6%) y se determine la viabilidad de los 38 enlaces de la red, mediante una simulación en Radio Mobile.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Definición de radioenlace

Un radio enlace es el que utiliza el espacio libre como medio para transportar las ondas electromagnéticas, ya sea en frecuencias libres o privadas, generalmente se implementan en frecuencias de 800 MHz a 22 GHz; cuando estos radio enlaces superan 1 GHz, se denominan enlaces de microondas. Según el tipo de modulación, los radioenlaces se pueden clasificar en dos categorías, análogos (la portadora se modula en frecuencia, FM) o digitales (la modulación de la portadora es digital o multinivel).

### 2.2 Ventajas y desventajas de un radio enlace

Las ventajas que se encuentran en un radio enlace con respecto a uno con medios guiados, son las siguientes:

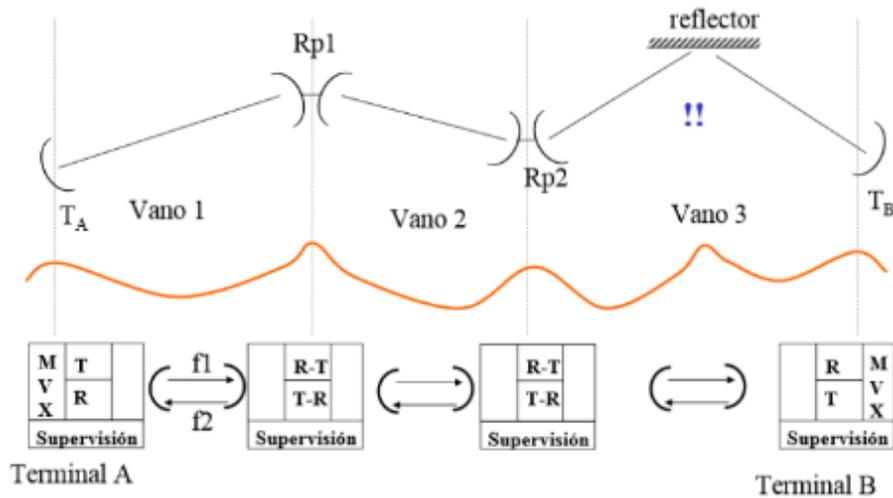
- Costo de implementación bajo.
- Instalación más rápida y simple.
- Mantenimiento económico y reparaciones rápidas.
- Pueden superarse las irregularidades del terreno.

Por otro lado, los inconvenientes son:

- Las demoras en la propagación.
- Las interferencias por radio y microondas.
- El debilitamiento de las señales debido a fenómenos meteorológicos.
- Difícil acceso a las estaciones repetidoras, generalmente ubicadas en lugares remotos.

### 2.3 Estructura de un radio enlace

Un radio enlace está compuesto por estaciones terminales y estaciones repetidoras intermedias con sus equipos transceptores (transmisores-receptores), antenas y elementos de supervisión y control.(Rábanos, 2013) , como se observa en la Figura 1.



**Figura 1. Representación esquemática de un radio enlace.**

Fuente: (Rábanos, 2013)

### 2.4 Bandas y asignación de frecuencias

Según la Resolución 689 de 2004 del Ministerio de las Comunicaciones de Colombia, las frecuencias de libre uso dentro del territorio nacional, para el acceso inalámbrico y las redes WLAN, son las indicadas en la Tabla 1:

**Tabla 1**

*Bandas de frecuencia de libre uso.*

Bandas de frecuencia (MHz)
902 - 928
2400 - 2483,5
5150 - 5250
5250 - 5350
5470 - 5725
5725 - 5850

**Nota.** Fuente:(Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2009)

En la Tabla 2, se muestra detalladamente las características del rango de frecuencias libres 5,1 a 5,8 GHz, ya que las bandas de 900 y de 2.4 GHz, no se utilizarán en el proyecto

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 2**

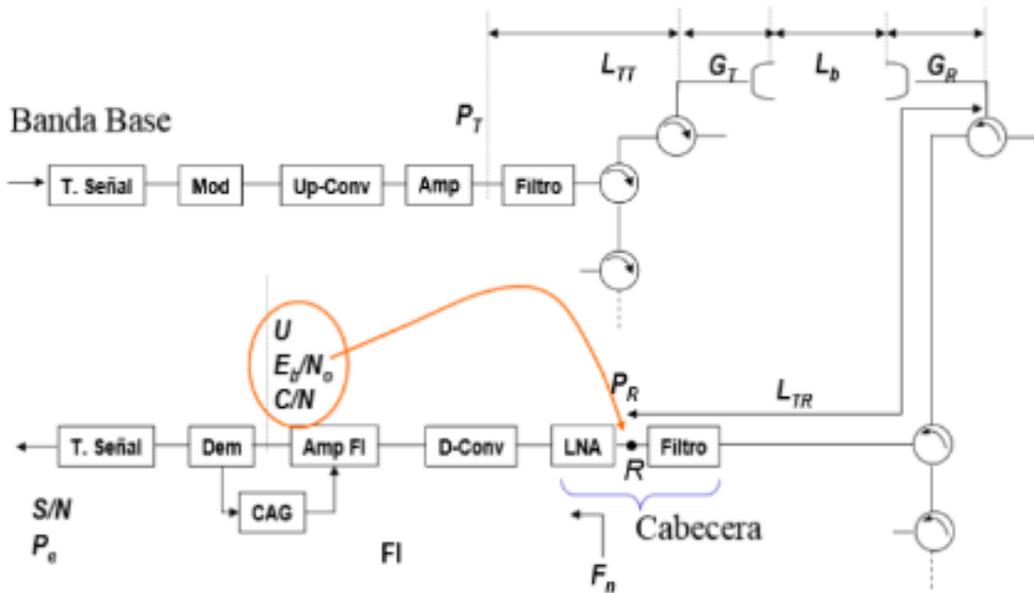
*Bandas de frecuencia en el rango de 5,1 a 5,9 GHz*

Tabla de la Resolución N° 000689 DE 21 ABR. 2004 del Ministerio de Comunicaciones							
Frecuencia de Operación (MHz)	Saltos de frecuencia en canales	Potencia máxima por equipo (en dBmw)	Potencia máxima equipos que usen modulación Digital (en dBmw)	Antenas Direccionales > 6Dbi, Potencia máxima del equipos permitida	Antenas Omni direccionales	Enlaces Punto a Punto con antenas < 23 dBi potencia máxima permitida	Enlaces Punto a Punto con Antenas > 23 dBi potencia máxima
5725 – 5850 MHz	≥ 75	30	30	La potencia pico de salida de un transmisor debe ser reducida por debajo de los valores establecidos en las otras columnas de esta tabla, como sea apropiado, por la cantidad en dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.		Pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi siempre y cuando la máxima potencia pico de salida del transmisor sea reducida en 1 dB por cada 3 dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi	
5150 -5250 MHz			50 mW ó 4 dBm + 10 logB, donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB	Aplica igual que en 5250 - 5350			
5250 a 5350 MHz			250 mW ó 11 dBm + 10 logB, donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB.	la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi			
5470 a 5725 MHz			250 mW ó 11 dBm + 10 logB, donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB.	Aplica igual que en 5250 - 5350			
5 725 a 5825 MHz			30dBm ó 17 dBm + 10 log. B, donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB	Aplica igual que en 5250 - 5350		no aplica la correspondiente reducción de la potencia de salida pico del transmisor, ni en la densidad espectral de potencia pico	Será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor y en la densidad espectral de potencia pico por cada dB que la ganancia de la antena exceda los 23 dBi

**Nota.**Fuente:(Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2009)

### 2.5 Diagrama de bloques

En la Figura 2, se muestra, detalladamente cada uno de los bloques de los que consta un radioenlace. El diagrama presentado es válido para enlaces digitales y analógicos y muestra equipos transceptores (transmisores-receptores) en el mismo bastidor.



**Figura 2. Diagrama de bloques Transmisión-Recepción.**

Fuente: (Rábanos, 2013)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

La metodología que se utilizó en este proyecto se dividió en dos fases, la primera fue netamente teórica, donde se recopiló la información necesaria para llevar a cabo el diseño del proyecto; la segunda fase, consistió en la validación en campo de los datos obtenidos teóricamente y la verificación de los resultados.

#### FASE 1.

Esta primera fase está dividida en dos etapas, en las cuales se recopiló toda la información teórica necesaria para el desarrollo del proyecto:

Etapa 1. Identificar los equipos de microondas que operan en las 3 bandas libres, para seleccionar el equipo que cumpla con las necesidades del diseño y presupuesto del proyecto.

- Actividad 1.1: Se estudiaron las especificaciones de los equipos que cumplieran con los parámetros requeridos para este proyecto (antenas, radios y cable coaxial).
- Actividad 1.2: Se pidió cotización y demo a varios proveedores, de los radios que se acomodaron a las necesidades y características requeridas para esta modernización.

Etapa 2. Diseñar una nueva topología física de la red de telecomunicaciones, generando puntos de respaldo que garanticen un alto porcentaje en la confiabilidad del sistema.

- Actividad 2.1: Se determinó cuál era la mejor topología a utilizar y dónde se ubicarían los puntos críticos de la red de gas, tomando como referencia la infraestructura actual de las redes de telecomunicaciones de EPM como SDH (Jerarquía Digital Síncrona), PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona) y microondas.

#### FASE 2.

Esta fase estuvo constituida por dos etapas, en las cuales se especificaron las actividades prácticas para la verificación de los resultados del diseño de este proyecto:

Etapa 1. Establecer la mejor banda a utilizar en el diseño de la red, de acuerdo al análisis del nivel de ruido en las bandas ICM (Industrial, Científica y Médica) 2.4 GHz, 5.0 GHz y 900 MHz, en los sitios donde van ubicados los radios de la red de Gas.

- Actividad 1.1: Se ingresó la información al software Radio Mobile y se efectuó la simulación en las tres bandas libres, para verificar la viabilidad del total de los enlaces. Con la información obtenida, se hizo un recorrido por las estaciones de gas y se midió con un analizador de espectro el nivel de ruido en las bandas de 900 MHz, 2.4 y 5.8 GHz.

Etapa 2. Determinar la viabilidad por distancia, obstáculos, zonas de Fresnel, potencia de recepción, el diseño obtenido en el Radio Mobile de los 38 enlaces de microondas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Actividad 2.1: Con personas de apoyo contratadas por EPM, con certificado e implementos para trabajo en alturas, se realizaron las pruebas de campo en las 3 bandas libres.
- Actividad 2.2: Después de realizar las pruebas de campo, se hicieron los cambios necesarios en el diseño para garantizar la viabilidad de todos los enlaces de microondas de la red.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado, se muestra en la Figura 3 los 38 enlaces de microondas de la red de telecomunicaciones del gasoducto, 35 enlaces Punto Multipunto y 3 Punto a Punto, simulados en Radio Mobile.

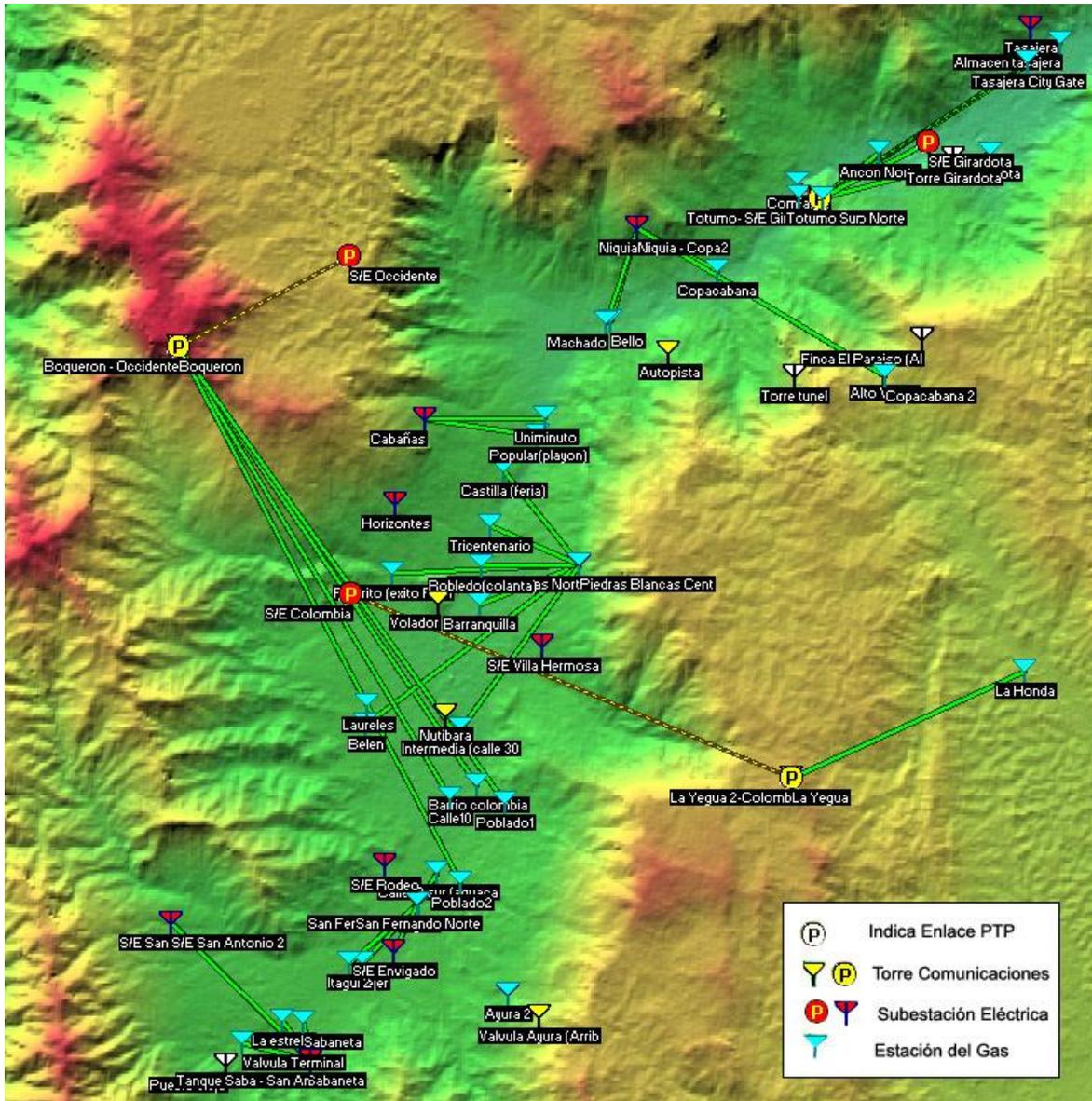


Figura 3. Los 38 enlaces de microondas

Fuente: Elaboración propia

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.1 Cálculos necesarios para el diseño de un radio enlace.

En un radio enlace, lo primordial es que sus módulos tengan una línea de vista, para que las ondas electromagnéticas puedan viajar libremente del origen al destino; pero también se deben tener en cuenta algunas pérdidas y factores ambientales que pueden causar una atenuación en la señal.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó el siguiente análisis matemático, tomando como referencia uno de los enlaces de la red del gasoducto (Piedras Blancas (Centro) – Barranquilla), éste tiene una distancia de 3,06 km y se realizó con equipos marca RADWIN en la banda de 5.8 GHz, de acuerdo a la teoría definida en el marco teórico.

En la Tabla 3, se muestran los parámetros de configuración utilizados para realizar la simulación de todos los enlaces en Radio Mobile, incluido Piedras Blancas (Centro) – Barranquilla.

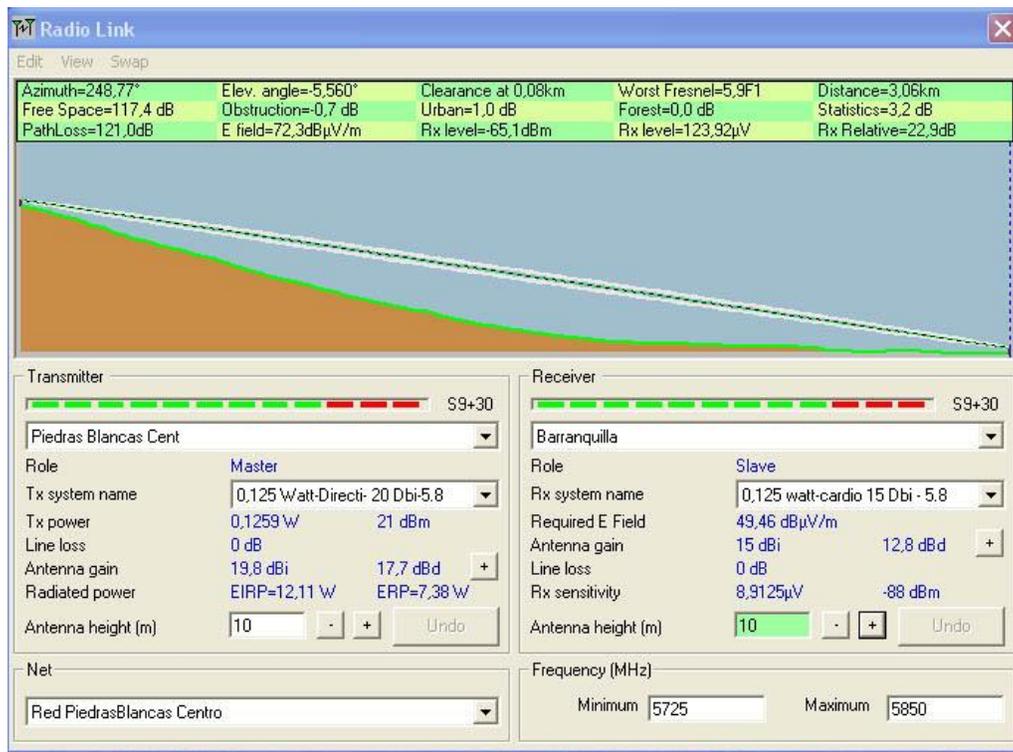
**Tabla 3:**

Parámetros de configuración en Radio Mobile

Parámetros Radio Mobile	
Configuración de los sistemas	
Potencia del transmisor	21 dBm
Ganancia antena Tx	20 dBi
Altura antena Tx	10 mt
Sensitividad del transmisor	-88 dBm
Potencia del receptor	21 dBm
Ganancia Antena RX	15 dBi
Altura antena Rx	10 mt
Sensitividad del receptor	-88 dBm
Configuración de la red	
Polarización	Vertical
Rango de frecuencia	5725 -5850 MHz
Clima	Continental-Subtropical
Modo de variabilidad	Accidental
	90 % Tiempo
	90 % Situaciones
Perdidas Adicionales	Ciudad 1%

**Nota.** Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4, se ilustra el enlace simulado con Radio Mobile, con los parámetros de la Tabla 3.



**Figura 4. Enlace entre Piedras Blancas (Centro)-Barranquilla**

Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente se requiere conocer la potencia de recepción y para ello, primero se deben calcular las pérdidas del enlace, como se muestra a continuación:

- **Pérdidas en el Espacio Libre:** Es la atenuación de la señal al alejarse del transmisor, aunque en realidad no es una pérdida sino una dispersión de la señal. (Fundación Escuela Latinoamericana de Redes, 1992)

$$LFS = 32.45 + 20 * \log D + 20 * \log f \quad (1)$$

*LFS en dB*

*F= frecuencia en MHz*

*D= distancia en kilómetros*

$$LFS = 32.45 + 20 * \log(3.06\text{km}) + 20 * \log (5800 \text{ MHz})$$

$$\mathbf{LFS = 117.4 \text{ dB}}$$

- **Atenuación por lluvia:** Es la degradación de la señal que causa la lluvia, la nieve o el granizo.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\gamma\left(\frac{dB}{km}\right) = kR^\alpha \quad (13)$$

$k$  y  $\alpha$  son unas constantes que dependen de la frecuencia y de la polarización (Horizontal y Vertical) de la onda electromagnética.

$R$ = Intensidad de lluvia  $R$ (mm/h)

$def f = \gamma * d$  :  $def f$  = Distancia efectiva del trayecto para la lluvia.

En la Tabla 4, se muestran los diferentes coeficientes de  $K$  y  $\alpha$  según la frecuencia de operación y su posición.

**Tabla 4:**

Valores numéricos de los coeficientes a diferentes frecuencias

Frecuencia (GHz)	$k_{Horizontal}$	$\alpha_{Horizontal}$	$k_{Vertical}$	$\alpha_{Vertical}$
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.9490
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.0001340	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
6	0.0007056	1.5900	0.0004878	1.5728
7	0.001915	1.4810	0.001425	1.4745
8	0.004115	1.3905	0.003450	1.3797
9	0.007535	1.3155	0.006691	1.2895
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156

**Nota.** Fuente: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf)

$R$ = Intensidad de lluvia  $R$ (mm/h)

Con  $R_{0.01\%} = 145$ mm/h

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \therefore d_0 = 35e^{-0.015R_{0.01\%}} \rightarrow \gamma = \frac{1}{1 + \frac{3.06}{35e^{-1.5}}} \rightarrow \gamma = \mathbf{0.7184 \text{ dB/km}}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$d_{eff} = \gamma * d$  :  $d_{eff}$  = Distancia efectiva del trayecto para la lluvia.

$$d_{eff} = 0.7184 * 3.06 \text{ km} \rightarrow d_{eff} = \mathbf{2.1983 \text{ km}}$$

$$A_{0.01\%}(dB) = k_v * R_{0.01\%}^\alpha * \gamma * d$$

De la Tabla 4, utilizamos los datos de la frecuencia de 5.5 GHz que es la que más se aproxima a nuestra frecuencia de 5.8 GHz.

$$A_{0.01\%}(dB) = 0.0003115 * 145^{1.5882} * 0.7184 * 3.06$$

$$\mathbf{A_{0.01\%}(dB) = 1.8545dB}$$

- **Pérdidas totales de Propagación:** Es la sumatoria de todas las pérdidas en el enlace.

*LFS: Pérdidas en el espacio libre*

*LFTX: Pérdidas en los cables del transmisor*

*LFRX: Pérdidas en los cables del receptor*

*A<sub>0.01%</sub>: Atenuación por lluvia*

$$\text{Pérdidas de Propagación Total} = LFS + LFTX + LFRX + A_{0.01\%}$$

$$\rightarrow 117.4 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} + 1.8545 \text{ dB}$$

$$\mathbf{\text{Pérdidas de Propagación Total} = 120.2545 \text{ dB}}$$

- **Potencia de Recepción:** Es el nivel de potencia que relaciona la cantidad de potencia transmitida sumado al nivel de ganancia de las antenas y teniendo en cuenta las perdidas existentes en el enlace.

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{ATx} + G_{ARx} - PP_T \quad (7)$$

$P_{Rx}$  = Potencia de Recepción

$P_{Tx}$  = Potencia de transmisión (Apéndice A, B y D)

$G_{ATx}$  = Ganancia de la antena de transmisión (Apéndice D)

$G_{ARx}$  = Ganancia de la antena de recepción (Apéndice D)

$PP_T$  = Pérdidas de Propagación Total

$$P_{Rx}(dBm) = 21 \text{ dBm} + 20 \text{ dBi} + 15 \text{ dBi} - 120.2545 \text{ dB}$$

$$\mathbf{P_{Rx} = -64.2545 \text{ dBm}}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego de tener el resultado de la Potencia de Recepción, se calcula la Potencia de Umbral, pero como primera medida, se debe conocer el valor del BER, para finalmente calcular el Margen de Desvanecimiento Plano, como se muestra a continuación:

- **BER:** Tasa de error que nos indica el valor en cuanto a los bits errados con respecto al total de bits transmitidos.

$$BER = \frac{\text{NumerodeBitserrados}}{\text{TotaldeBitstransmitidos}} \quad (5)$$

Para la realización de este cálculo, se ejecutó un ping con una longitud de 5.000 solicitudes de respuesta desde la estación base Piedras Blancas (Centro) a la Unidad de suscriptor Barranquilla y el resultado fue el siguiente:

$$5.000 * 32 * 8 = 1.280.000 \rightarrow \text{Bits transmitidos}$$

$$4999 * 32 * 8 = 1.279.744 \rightarrow \text{Bits recibidos}$$

$$1 * 32 * 8 = 256 \rightarrow \text{Bits errados}$$

$$BER = \frac{256}{1.280.000} \rightarrow \mathbf{BER = 200 * 10^{-6}}$$

El resultado del BER, nos indica que el enlace será confiable, ya que en una transmisión de 1.280.000 bits, sólo el 0.02% no llegará al destino.

- **Potencia de umbral (PTH):** Es la potencia de operación mínima para una comunicación aceptable con relación a la tasa de error por bit.

$$P_{Th} = 10 \log(k * T * B) + f + C/N \quad (6)$$

$P_{Th}$  = Potencia de umbral

$(C/N)_{Th}$  = Carrier to noise del umbral

$f_b$  = Velocidad de banda base (Bit)

$\eta$  = Índice de modulación ( $\eta = \log_2 M$ )

$k$  = constante de Boltzmann ( $1.38 * 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ )

$T$  = Temperatura en grados Kelvin (Apéndice D)

$B$  = ancho de banda ruido  $\frac{f_b}{\eta}$

$$\eta = \log_2 M \rightarrow \log_2 64 \rightarrow \log_2 2^6 \rightarrow 6 \log_2 2 \rightarrow \mathbf{\eta = 6}$$

Con la Figura 5, se puede obtener el valor del Carrier to noise del umbral ((C/N) Th), según el BER y la frecuencia utilizada.

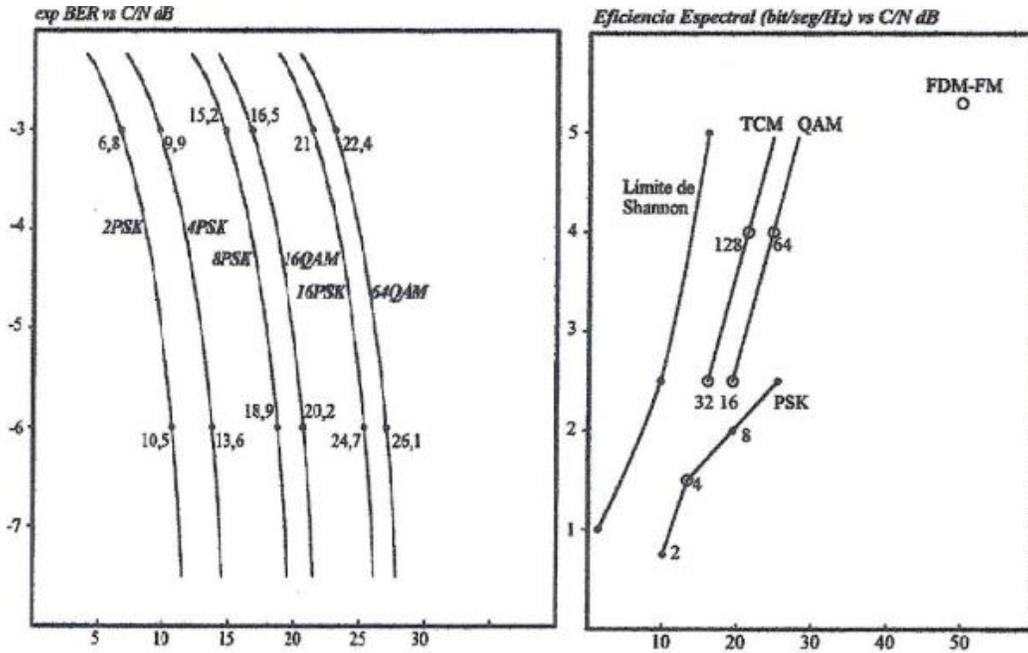


Figura 5. Características de la modulación digital.

Fuente: Recuperado de <http://www.analfatecnicos.net/archivos/15.MetodosModulacionDigital.pdf>

Utilizando la gráfica y tomando una modulación de 64 QAM y un BER de -6, indica que (C/N)Th= 26.1dB

Se utilizó una modulación de 64 QAM, ya que de las soportadas por los equipos de microondas usados (Ver apéndices A y B) es la que mejor índice de modulación tiene (6 bits por símbolo). El valor del BER se obtuvo del cálculo realizado anteriormente.

$$P_{Th}(dB) = 10 \log \left( 1.38 * \frac{10^{-23} J}{^{\circ}k} * 300^{\circ} * \frac{3 * 10^6}{6} * 1000 \right) + 7dB + 26.1dB$$

$$P_{Th}(dB) = -83.74 dBm$$

- **Margen de Desvanecimiento Plano (FFM):** Es la reducción de la potencia de una señal respecto al nivel de potencia nominal. Relaciona la potencia de recepción y la potencia de umbral

$$FFM(dB) = P_{Rx}dBm - P_{Th}dBm \tag{8}$$

$P_{Rx}$ = Potencia de Recepción

$P_{Th}$ = Potencia de umbral

$$FFM (dB) = -62.4dBm - (-83.74 dBm)$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\mathbf{FFM (dB) = 21.34 dB}$$

El valor arrojado por el FFM es muy bueno, ya que indica la cantidad de atenuación en dB a la que se puede ver sometido el radio enlace sin que se vea afectado el servicio, es decir, la diferencia entre la potencia de umbral y la potencia de recepción del enlace; algunos proveedores como “Invictus Networks” ( Invictus Networks, 2010) recomiendan un mínimo de 10 dB de FFM a una frecuencia de 5 GHz.

- **PIRE:** La potencia que efectivamente radia el sistema.

$$PIRE = \frac{P_{Tx} \times G_{Tx}}{L_{FTx}} \quad (3)$$

*PTX= Potencia de transmisión en dBm (Apéndice D)*

*GTX= Ganancia de la antena Tx en dBi (Apéndice D)*

*LFTX= Pérdidas en la transmisión conectores, cableado en dB*

$$PIRE \text{ suscriptor} = 21 \text{ dBm} + 20 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB}$$

$$PIRE \text{ suscriptor} = \mathbf{40.5 \text{ dBm}}$$

$$PIRE \text{ Estación Base} = 21 \text{ dBm} + 15 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB}$$

$$PIRE \text{ estacion base} = \mathbf{35.5 \text{ dBm}}$$

- **Ganancia del sistema:** Se utiliza para medir la confiabilidad del enlace.

$$G_S = P_t - C_{min} \geq FFM + LFS + LFTX + LFRX - GTX - GRX \quad (4)$$

$P_t$ = Potencia de salida del transmisor dBm

$C_{min}$ = Potencia mínima de entrada al receptor para determinado objetivo de calidad. (Apéndice D)

FFM= Margen de Desvanecimiento Plano

LFS= Pérdidas de Espacio Libre

LFTX= Pérdidas en los cables del transmisor

LFRX= Pérdidas en los cables del receptor

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

GTX= Ganancia de la antena transmisora

GRX= Ganancia de la antena receptora

$$G_S = 21 \text{ dBm} - (-88 \text{ dBm}) \geq 21.34 \text{ dB} + 117.4 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} - 20 \text{ dBi} - 15 \text{ dBi}$$

$$G_S = 109 \text{ dB} \geq 104.74 \text{ dB}$$

El resultado obtenido de la ganancia del sistema es bueno, ya que la literatura indica que debe ser mayor o igual a la suma de las pérdidas y las ganancias incurridas en el trayecto de la señal, desde el transmisor hasta el receptor, y como se puede observar en el resultado de la ecuación, cumple con este parámetro.

En la Figura 6 se ilustra la interfaz gráfica del software de administración de los equipos Radwin utilizados en la prueba, y en la Figura 7, el ping sostenido mencionado en los resultados de la Ecuación 5.



Figura 6. Interfaz gráfica del software de Radwin.

Fuente: Elaboración propia.

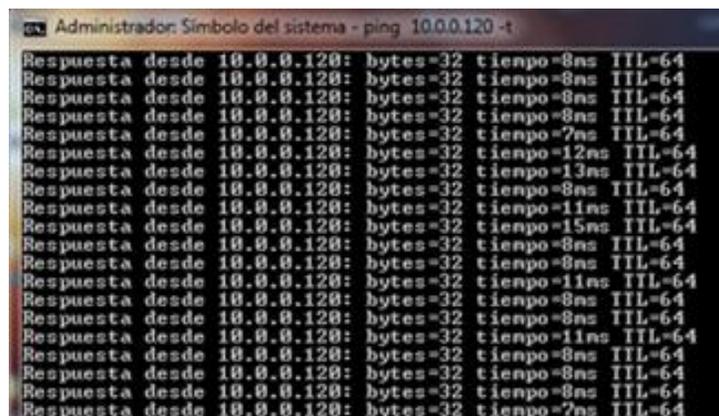


Figura 7. Ping sostenido de Piedras Blancas (Centro)-Barranquilla

Fuente: Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.2 Comparación de los valores de Radio Mobile con los valores calculados.

En la Tabla 5. se ilustran los resultados obtenidos matemáticamente y los mostrados en el software de Radio Mobile del enlace de Piedras Blancas (Centro) y Barranquilla, de la Figura 4.

**Tabla 5:**

Comparativa de valores entre Radio Mobile y los valores calculados

	LFS	Potencia RX	PIRE	Perdidas de propagación total
Radio Mobile	117.4 dB	-65.1 dBm	40.8 dBm	121dB
Calculados	117.4 dB	-64.25dBm	40.5 dBm	120.5945 dB

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Al configurar la red en Radio Mobile se evidenció que los parámetros “Modo variabilidad” (Tabla 3), pueden influir en el resultado de las pérdidas totales de los enlaces, lo que generó una diferencia de 20 dB en los cálculos realizados matemáticamente y los arrojados por el software de simulación. Debido a que en las ecuaciones no se mide el modo de variabilidad, se optó por buscar una configuración en la que se encontrara un punto medio, para que coincidieran los valores de Radio Mobile y los calculados en el parámetro pérdida total del enlace, de la siguiente manera:

**Variabilidad de tiempo:** se configuró en 90%, este parámetro indica variaciones de los valores medianos tomados por horas de atenuación, son por ejemplo, cambios de la refracción atmosférica o de la intensidad de turbulencia atmosférica.

**Variabilidad por situación:** se configuró en 60 %, este parámetro indica otro tipo de variables que pueden denominarse “hidden variables” y representan efectos que no pueden explicarse o que simplemente se ha decidido no controlar.

De esta manera, las pérdidas de propagación totales arrojadas por Radio Mobile y las calculadas matemáticamente, quedan con valores similares como se puede observar en la Tabla 5.

#### 4.3 Distribución de enlaces Red de Gas

En la Tabla 6 y Tabla 7 se ilustra la distribución de los enlaces de microondas de la red de telecomunicaciones del gas.

##### 4.3.1 Distribución de enlaces Multipunto red del GAS

En la Tabla 6., se detalla la forma como van conectadas las diferentes Unidades de Suscriptor a la Estación Base correspondiente.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 6**

*Enlaces punto a multipunto.*

ENLACES PUNTO MULTIPUNTO			
PUNTOS	Estación Base	Unidad de Suscriptor	NOTA
Punto 1	Totumo Norte	Ancón Norte Comfama Tasajera Tasajera Citygate Girardota S/E Girardota	Totumo Norte se conectará con S/E Girardota con un enlace PTP para alcanzar el CRC a través del enlace de fibra de la red SDH.
Punto 2	Totumo Sur	Comfama Metro mezclas	La estación del gas Copacabana, también es viable conectarla con esta estación base
Punto 3	Niquía	Bello Machado Copacabana	
Punto 4	Niquía – Copa2	Copacabana 2	Este enlace es necesario hacerlo independiente de la estación base Niquia ya que el ángulo de elevación de la antena de ésta, no cubre el punto Copacabana 2 pues está a 800 metros por encima del resto de las estaciones cubiertas por Niquia.
Punto 5	Cabañas	Uniminuto Popular (Playón)	
Punto 6	Piedras Blancas Norte	Pajarito (Éxito Robledo) Tricentenario Castilla (Feria) Robledo (Colanta)	
Punto 7	Piedras Blancas Centro	Belén Barranquilla Intermedia Calle 30	
Punto 8	Boquerón	Laureles Poblado 1 Poblado 2 Barrio Colombia Calle 10	Boquerón se enlazara con un enlace PTP a la S/E Occidente para alcanzar la S/E Colombia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Punto 9	San Fernando Norte	Calle 12 Itagüí 1	
Punto 10	San Fernando Sur	S/E Envigado Itagüí2 Coltejer	San Fernando Sur se enlazara con un punto a punto a la S/E Envigado para alcanzar la S/E Colombia.
Punto 11	Tanque Sabaneta	Sabaneta La Estrella Válvula Terminal	
Punto 12	La Yegua	La Honda	La Estación del gas Caldas debe comunicarse por cable UTP o por fibra Óptica con la red SDH, pues está a 50 metros del edificio de la Subestación Caldas.

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2 Distribución de enlaces Punto a Punto red del GAS

Los enlaces punto a punto que se muestran en la Tabla 7, se dan porque donde está ubicada la estación base que recibe las unidades de suscriptor de las estaciones de gas, no hay fibra de la red SDH de EPM, por lo tanto en esa estación base se debe poner un enlace punto a punto desde ese lugar hasta la subestación o lugar más cercano donde haya fibra de EPM.

**Tabla 7**

*Enlaces punto a punto.*

PUNTO A PUNTO	
Unidad Base	Equipo Remoto
Boquerón	S/E Occidente
Colombia	Repetidora La Yegua
Tanque Sabaneta	Subestación San Antonio

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 Pruebas de campo.

Las pruebas de campo se realizaron con personal contratado por EPM, para verificar si los datos arrojados por el software de simulación Radio Mobile en las bandas de 900 MHz y 5.8 GHz, eran viables en una implementación real.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.4.1 Pruebas de campo 900 MHz (Radios Freewave Htplus 900)

Se realizaron pruebas de campo en la banda de 900 MHz, con equipos FreeWave que operan en frecuencias de 902 - 928 MHz, éstos manejan un ancho de banda de 854 Kbps que se divide según el número de equipos que se conecte a la red que se propaga, en el extremo del cliente se usó una antena Yagui de 12 dBi y en el extremo del maestro una antena omnidireccional de 9 dBi. Las pruebas se realizaron en los puntos más críticos de la red, como la zona sur de la ciudad, por su gran cantidad de edificaciones y árboles. La Tabla 8 muestra los resultados de las pruebas, en las que se encuentran como puntos más críticos Barrio Colombia y Calle 12 Sur (Aguacatala).

**Tabla 8:**

Pruebas de campo en la frecuencia de 900 MHz

Pruebas de campo (Red de Gas) 900 MHz, Antena 12 dBi Yagi en puntos esclavos, 11 dBi (Omni) en puntos maestros.						
Sitio	conectado a	Viable	Potencia de Rx (dBm)	LoS	Potencia de Tx (dBm)	Observaciones
Belén	Piedras Blancas	si	-71	si	24	
Belén	Válvula Ayurá	no		no	24	Árboles obstruyen la línea de vista
Belén	Boquerón	si	-82	no	24	Edificio obstruye línea de vista
Laureles	Ayurá	si	-83	si	24	La conexión es inestable (necesita poda)
Laureles	Boquerón	si	-77	si	24	Necesita poda de árboles para mejorar el enlace
Calle 12 Sur (Aguacatala)	Piedras Blancas	no	-91	no	29	Árboles obstruyen línea de vista (podar y hacer pruebas de nuevo)
Calle 12 Sur (Aguacatala)	Válvula Ayurá	no	-91	no	29	Edificios obstruyen línea de vista
Calle 12 Sur (Aguacatala)	Boquerón	no	-92	no	29	Árboles obstruyen línea de vista (podar y hacer pruebas de nuevo)
Barrio Colombia	Piedras Blancas	no	-91	no	29	Árboles obstruyen línea de vista
Barrio Colombia	Tanque Itagüí	no	-94	no	29	Edificios obstruyen línea de vista
Barrio Colombia	Boquerón	no	-94	no	29	Edificios obstruyen línea de vista

Poblado 2	Piedras Blancas	no		no	24	Edificios obstruye línea de vista
Poblado 2	Válvula Ayurá	si	-70	si	24	
Poblado 2	Planta Ayurá	no		no	24	Edificios obstruye línea de vista
Poblado 2	Boquerón	si	-76	si	24	
Tasajera Citygate	Totumo	si	-73	si	24	
Almacén Tasajera	Totumo	si	-65	si	24	
Girardota	Totumo	si	-80	si	24	
Metro mezclas	Totumo	si	-75	no	23	

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2 Pruebas de campo 5.8 GHz (Radios ALVARION)

Se realizaron pruebas de campo con la empresa COMNET, con radios marca Alvarion, éstos manejan una antena integrada de 20 dBi y un ancho de banda de 3 Mbps en el extremo de la unidad de suscriptor y en la estación base manejan una antena de 15 dBi y un ancho de banda de 54 Mbps. Las pruebas se realizaron en la frecuencia de 5.4 GHz, donde se analizó la factibilidad de montar la red de telecomunicaciones del gas sobre esta marca.

- Se visitó Almacén tasajera y Tasajera Citygate, tienen línea de vista con la torrecilla Trapiche pero en ésta solo hay equipos punto a punto, por lo que es necesario montar una estación base en este punto para darle cobertura a los 2 puntos anteriormente mencionados.

- En el punto La Felisa (Guarne) no hay cobertura con la estación base existente, por lo que se requiere instalar una nueva en la repetidora la Yegua.

En la Figura 8 se puede observar a personal contratista instalando radios Alvarion para realizar las pruebas.



**Figura 8.** Contratista realizando pruebas de campo.

Fuente: Elaboración propia

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.4.3 Pruebas de Campo 5.8 GHz (Radios RADWIN)

Se recibió por parte del proveedor de enlaces inalámbricos, cuatro equipos Radwin en préstamo, 2 equipos punto a punto, una estación base y una unidad de suscriptor, con los cuales se realizaron pruebas en diferentes puntos del Área Metropolitana, obteniendo buenos resultados en general en cada uno de los radio enlaces que se realizaron, e identificando otros que se debían reevaluar. Las pruebas se realizaron con una estación base con 24 dBm de potencia de transmisión, en la cual se instaló una antena de 12 dBi de ganancia y una cobertura de 120 grados horizontal, al otro extremo en la unidad de suscriptor se instaló un radio con una potencia de 24 dBm de potencia de transmisión y una antena de 34 dBi de ganancia y 6 grados de cobertura horizontal, las antenas de ambos extremos con polaridad dual. Los resultados arrojados de las pruebas se adjuntan en la Tabla 9:

**Tabla 9:**

Pruebas de campo en la frecuencia de 5.8 GHz

Pruebas de campo Radwin 5.8 GHz, Antena 34 dBi (plato) en unidades suscriptor, 12 dBi (panel) en estaciones base.						
Sitio	conectado a	Viable	Potencia de Rx (dBm)	LoS	Potencia de Tx (dBm)	Observaciones
Belén	Piedras Blancas centro	si	-75	si	24	
Barrio Colombia	Boquerón	si	-82	si	24	Se debe instalar un nuevo poste
Laureles	Boquerón	si	-83	si	24	Arboles atenúan demasiado la señal
Poblado 1	Boquerón	si	-78	si	24	Árbol en propiedad privada atenúa la señal
Calle 10	Boquerón	si	-77	si	24	Línea de vista sin obstáculos
Robledo (Colanta)	Piedras Blancas Norte	si	-82	si	24	Podar árboles que obstruyen línea de vista
S/E Envigado	San Fernando Sur	si	-77	si	24	Podar árboles que obstruyen línea de vista
Coltejer	San Fernando Sur	si	-85	no	24	Podar árboles que obstruyen línea de vista
Itagüí 2	San Fernando Sur	si	-85	no	24	Podar árboles que obstruyen línea de vista
Barranquilla	Piedras Blancas centro	si	-85	no	24	Podar árboles que obstruyen línea de vista
Comfama	Totumo Sur	si	-81	no	24	Arboles obstruyen línea de vista
Ancón Norte	Totumo Norte	si	-84	si	24	Arboles obstruye línea de vista

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tasajera Citygate	Totumo Norte	si	-88	no	24	Arboles obstruye línea de vista
-------------------	--------------	----	-----	----	----	---------------------------------

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Todos los resultados que se anexaron a la tabla anterior se pueden mejorar sustancialmente cuando se ejecute el proyecto, pues en las estaciones base se va a instalar una antena de 16 dBi (90º) en algunos casos y en otros una de 19 dBi (60º), lo que aumenta la ganancia de la estación. En la Figura 9, se muestra al personal realizando la instalación de los radios para las pruebas necesarias para la frecuencia de 5.8 GHz con radios RADWIN.

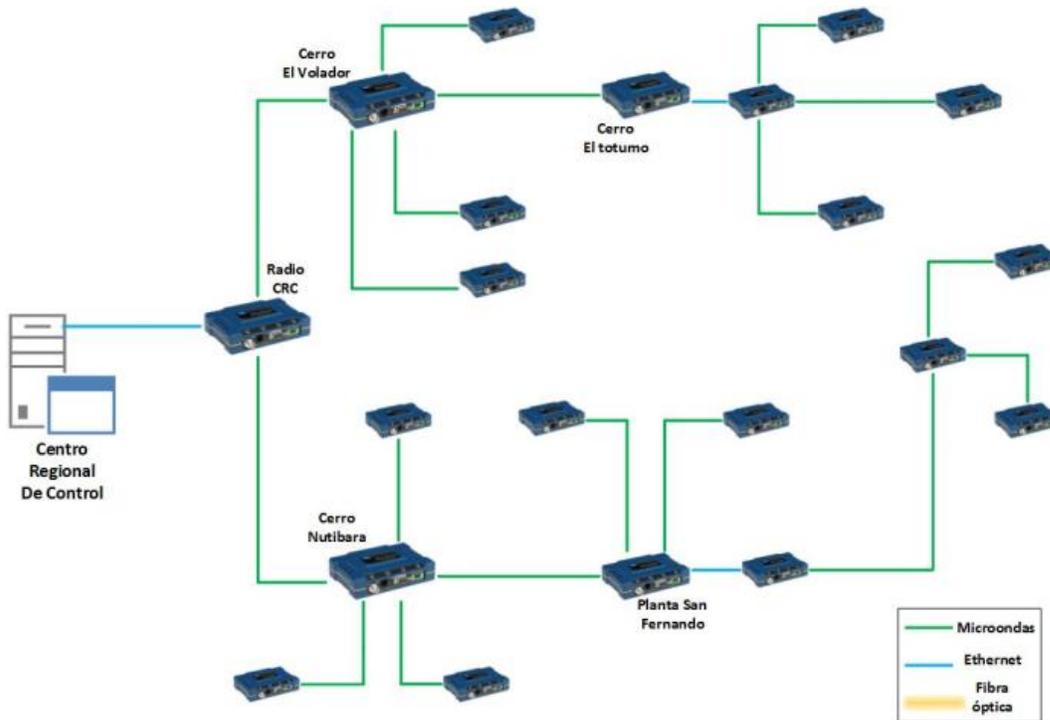


**Figura 9. Contratista realizando pruebas de campo con equipos RADWIN.**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 Topología de Red propuesta

La topología actual de la red de microondas del gas de EPM, se ilustra en la Figura 10, ésta como se puede evidenciar en la imagen, sólo posee dos puntos de falla principales, Cerro el Volador y Cerro Nutibara, de los cuales dependen toda la zona Norte y Sur del Área Metropolitana respectivamente, además de otros puntos críticos como San Fernando y Cerro Totumo, de los que dependen varios radios de las estaciones de gas, por lo cual no es una red confiable ni bien estructurada.



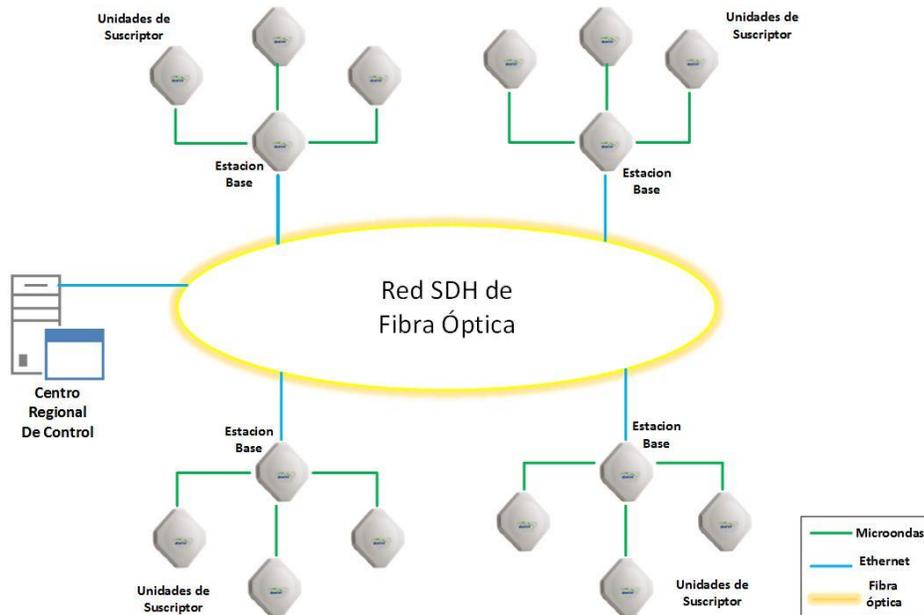
**Figura 10. Topología de la red de telecomunicaciones del gas 2014**

Fuente: Elaboración propia

Como mejora de la topología existente, donde la totalidad de los enlaces dependen sólo de 2 puntos, se propone un rediseño en estrella en la red de microondas, donde haya como máximo 5 unidades de suscriptor por cada estación base y cada una de estas unidades de suscriptor se podrá enlazar con una estación base secundaria, que se encuentra dentro del rango de cobertura, la cual generaría redundancia en caso de una falla en la estación base principal. La topología de estrella se eligió por encima de la de malla porque aunque esta última genera mayor confiabilidad también conlleva altos costos de implementación.

Aprovechando el anillo de Fibra Óptica que tiene EPM implementado en el Área Metropolitana, éste se utilizará para transportar las señales obtenidas de las estaciones de gas hasta el Centro Regional de Control (CRC), lo que genera alto porcentaje de confiabilidad en la red ya que al ser un anillo hay tramos redundantes de comunicación hasta el CRC.

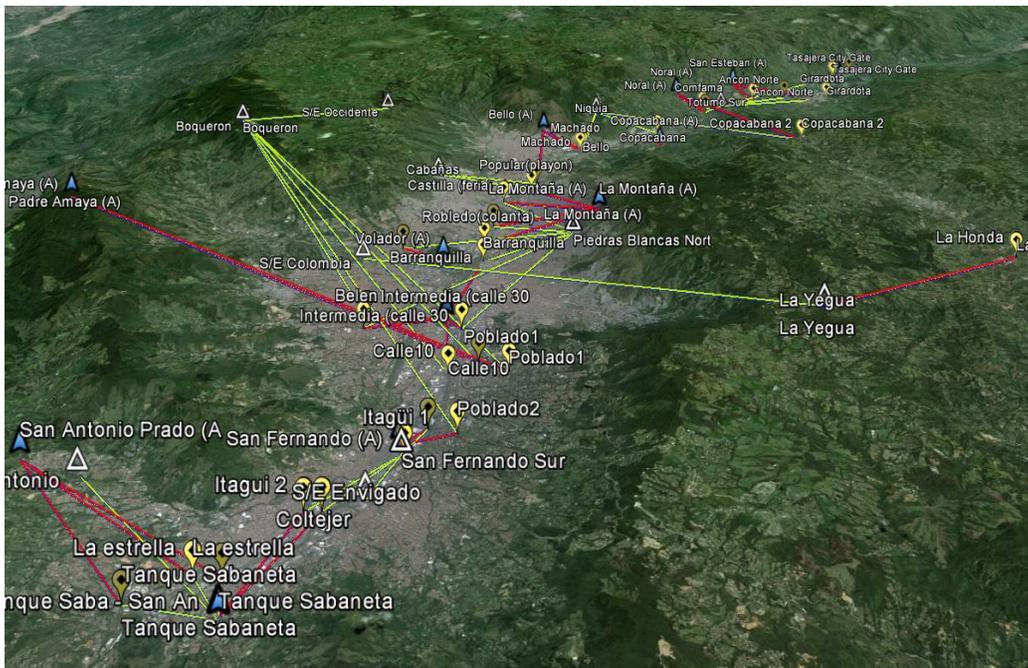
En la Figura 11, se muestra la topología propuesta, donde se combina la topología en anillo de la red SDH de fibra óptica y la topología en estrella de las estaciones base y las unidades de suscriptor.



**Figura 11. Topología Propuesta**

Fuente: Elaboración propia

Como último resultado, se muestra en la Figura 12 la red completa, con los 38 enlaces, exportados a Google Earth.



**Figura 12. Enlaces de microondas en Google Earth**

Fuente: Elaboración propia

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### CONCLUSIONES

- El rediseño de la red de telecomunicaciones del gas de EPM, resulta viable implementándose en bandas libres como lo plantea el proyecto, éstas permiten estabilidad del servicio y el montaje de tráfico de video en algunas de las estaciones monitoreadas.
- La mejor banda a utilizar en el proyecto es el rango de 5 a 5.8 GHz, ya que los anchos de banda que maneja (hasta 100 Mbps dependiendo del modelo) permiten la implementación de video en tiempo real. La frecuencia de 2.4 GHz fue descartada por el alto uso que tiene actualmente, lo anterior puede generar interferencias en la red de microondas que pueden afectar los radio enlaces.
- Entre las marcas de equipos evaluados, las 2 que mejor cumplen con los requerimientos y presupuesto de la red de telecomunicaciones del gas, son los de la familia Alvarion BreezeVL y Radwin HPMP5000
- Para esta red de microondas se determina que se debe emplear la topología en estrella en la red de microondas, ya que por costos y confiabilidad es la que aplica al proyecto, como se mencionó en el ítem Topología propuesta.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer pruebas del tráfico de video y del monitoreo de la red simultáneamente, para evidenciar su rendimiento y hacer los ajustes requeridos, como implementación de QoS, ya que se le debe dar prioridad al monitoreo por encima de cualquier otro tráfico.
  
- Se sugiere podar algunos árboles ya que por su altura y cercanía con las antenas en algunas estaciones del gas, atenúan de manera significativa la señal. Los lugares donde se presenta el inconveniente, se observan en la Tabla 8 y Tabla 9.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TRABAJO FUTURO

- Luego de la realización del prototipo de la red, se proyecta continuar con la implementación de dicho diseño para el segundo semestre del 2015, ya que la gerencia del gas, cuenta con los recursos económicos para hacerlo.
  
- Implementar video vigilancia en la totalidad de las estaciones del gas, ya que en este momento está planeado sólo para algunas de ellas.
  
- Hacer el montaje de una red de características similares en la región del Urabá Antioqueño, ya que allí se cuenta con al menos 6 estaciones del gas que se deben monitorear.
  
- Aprovechar la cercanía de las estaciones del gas con subestaciones eléctricas y bombeos de agua de EPM, para transportar a través de la red de telecomunicaciones, no sólo señales obtenidas de la red del gas, sino las de los servicios anteriormente mencionados y así disminuir costos en la implementación de redes paralelas para cada servicio.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6. REFERENCIAS

---

Fundación Escuela Latinoamericana de Redes. (1992). Obtenido de [http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/07-Presupuesto\\_de\\_potencia-es-v1.14-Notes.pdf](http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/07-Presupuesto_de_potencia-es-v1.14-Notes.pdf)

Networks, I. (2010). *Invictus Networks*. Obtenido de <http://www.invictusnetworks.com/faq/RF%20Technical%20Info%20and%20FCC%20Regs/Fade%20Margin%20Calculator%20-%20Basic.htm>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (14 de Octubre de 2009). Obtenido de [http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3770\\_documento.pdf](http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3770_documento.pdf)

Rábanos, J. M. (2013). Transmisión por Radio. En J. M. Rábanos, Transmisión por Radio (pág. 148). Centro de estudios Ramon Areces.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 7. APÉNDICE

### Apéndice A

Estación Base RADWIN RW-5200-0250

#### HBS 5200-0250 - Product Specifications

CONFIGURATION		
Architecture	Outdoor Unit Connectorized for External Antenna	
PoE to ODU Interface	Outdoor CAT-5e; Maximum cable length: 100m for 10/100BaseT and 75m for 1000BaseT	
RADIO		
Capacity	250 Mbps net aggregate throughput @40MHz 100 Mbps net aggregate throughput @20MHz	
Subscriber Units (HSUs) support	Up to 32 HSUs	
Range	Up to 40 km / 25 miles	
Channel Bandwidth	Configurable: 5, 10, 20 and 40 MHz	
Modulation	2x2 MIMO-OFDM (BPSK/QPSK/16QAM/64QAM)	
Adaptive Modulation & Coding	Supported	
Bandwidth allocation	Symmetric and Asymmetric	
DFS	Supported	
End to End Latency	Typical: 3.5msec @ 2 HSUs; 20msec @ 32 HSUs	
Diversity	Supported	
Spectrum Viewer	Supported	
Max Tx Power	25 dBm (*)	
Duplex Technology	TDD	
Error Correction	FEC k = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6	
Encryption	AES 128	
Ethernet Interface	10/100BaseT, 1000BaseT (supported via indoor PoE device)	
Layer 2	Bridging learning of 5K MAC addresses	
QoS	Supported Packet classification to 4 queues according to 802.1p and Diffserv	
VLAN	Supported 802.1Q, 802.1P, QinQ	
TDD Intra Site Synchronization	Supported	
TDD Inter Site Synchronization	Supported through common GPS receiver per site	
SUPPORTED BANDS		
5.8 GHz FCC/IC*	5.725 - 5.850 GHz	FCC 47CFR, Part 15, Subpart C and IC RSS-210
5.8 GHz MII	5.730 - 5.845 GHz	MI I for 5.8 GHz
5.8 GHz WPC India	5.825 - 5.875 GHz	WPC GSR-38
5.4 GHz FCC	5.480 - 5.715 GHz	FCC 47CFR, Part 15, Subpart E
5.4 GHz IC	5.480 - 5.715 GHz	IC RSS-210
5.3 GHz FCC/IC	5.255 - 5.350 GHz	FCC 47CFR, Part 15, Subpart E and IC RSS-210
4.9 GHz FCC/IC	4.940 - 4.990 GHz	FCC 47CFR, Part 90, Subpart Y and IC RSS-111
6.0 GHz Universal	5.690 - 6.060 GHz	Universal
5.9 GHz Universal	5.730 - 5.960 GHz	Universal
5.4 GHz Universal	5.465 - 5.730 GHz	Universal
5.3 GHz Universal	5.140 - 5.345 GHz	Universal
5.0 GHz Universal	4.990 - 5.160 GHz	Universal
4.9 GHz Universal	4.890 - 5.010 GHz	Universal
*Default Band		
MECHANICAL		
ODU Dimensions	19.5(w) x 27.0(h) x 8.0(d) cm	
ODU Weight	1.8 kg / 3.6 lbs	
POWER		
Power Feeding	Power provided over ODU-IDU cable using PoE	
Power Consumption	<25W	
ENVIRONMENTAL		
Operating Temperatures	-35°C to 60°C / -31°F to 140°F	
Humidity	100% condensing, IP67 (totally protected against dust and against immersion up to 1m)	

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Apéndice B

### Unidad de abonado RADWINRW 5525-0C50

#### Product Specifications

Configuration	
Architecture	Outdoor Unit Connectorized for External Antenna
IDU to ODU Interface	Outdoor CAT-5e cable; Maximum cable length: 100m
Radio	
Capacity	25 Mbps net aggregate throughput
Range	Up to 40 km / 25 miles
Channel Bandwidth	Configurable: 5, 10, 20 and 40 MHz
Modulation	2x2 MIMO-OFDM (BPSK/QPSK/16QAM/64QAM)
Bandwidth allocation	Symmetric and Asymmetric
DFS	Supported
Adaptive Modulation & Coding	Supported
Automatic Channel Selection	Supported
Diversity	Supported
Spectrum Viewer	Supported
Max Tx Power	25 dbm
Duplex Technology	TDD
Error Correction	FEC k = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6
Encryption	AES 128
Ethernet interface	10/100BaseT
Layer 2	Hub Mode
QoS	Packet classification to 4 queues according to 802.1p and Diffserv, Dynamic scheduling according to air interface changes
VLAN	Supported 802.1Q, 8021.P, QinQ

Supported Bands					
Band	Occupied Frequency Range				Radio Compliance
	Channel BW 5MHz	Channel BW 10MHz	Channel BW 20MHz	Channel BW 40MHz	
5.8 GHz FCC/IC*	5.7275-5.8475 GHz	5.725-5.850 GHz	5.725-5.850 GHz	5.725-5.850 GHz	FCC 47CFR, Part 15, Subpart C and IC R55-210
5.9 GHz Universal	5.7275-5.9525 GHz	5.725-5.955 GHz	5.720-5.960 GHz	5.710-5.970 GHz	Universal
5.8 GHz MII China	5.7375-5.8375 GHz	5.735-5.840 GHz	5.730-5.845 GHz	5.720-5.855 GHz	MI for 5.8 GHz
5.8 GHz WPC India	5.8275-5.8725 GHz	5.825-5.875 GHz	5.825-5.875 GHz	5.825-5.875 GHz	WPC G5R-3B
5.4 GHz FCC/IC	5.4775-5.7175 GHz	5.480-5.715 GHz	5.480-5.715 GHz	5.480-5.715 GHz	FCC 47CFR, Part 15, Subpart E and IC R55-210
5.4 GHz Universal	5.4725-5.7225 GHz	5.470-5.725 GHz	5.465-5.730 GHz	5.455-5.740 GHz	Universal
5.3 GHz FCC/IC	5.2525-5.3475 GHz	5.255-5.345 GHz	5.255-5.345 GHz	5.255-5.345 GHz	FCC 47CFR, Part 15, Subpart E and IC R55-210
5.3 GHz Universal	5.1475-5.3375 GHz	5.145-5.340 GHz	5.140-5.345 GHz	5.130-5.355 GHz	Universal
4.9 GHz FCC/IC	4.9425-4.9875 GHz	4.940-4.990 GHz	4.940-4.990 GHz	—	FCC 47CFR, Part 90, Subpart Y and IC R55-111
4.9 GHz Universal	4.8975-4.9925 GHz	4.895-4.995 GHz	4.890-5.000 GHz	4.880-5.000 GHz	Universal

\* Factory Default

Mechanical	
Dimensions	17.1(w) x 19.6(h) x 7.2(d) cm
Weight	1.1 kg / 2.4 lbs
Power	
Power Feeding	Power provided over ODU-IDU cable using PoE device
Power Consumption	<12W
Environmental	
Operating Temperatures	-35°C to 60°C / -31°F to 140°F
Humidity	100% condensing, IP67 (totally protected against dust and against immersion up to 1m)

 <b>Institución Universitaria</b>	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	<b>Código</b>	FDE 089
		<b>Versión</b>	03
		<b>Fecha</b>	2015-01-22

## Apéndice C

### Punto a Punto ALVARIONBU/RB-B28D-5.4

<b>BreezeNET B28</b>	5.x GHz	10, 20 and 40 MHz channels	Up to 35 Mbps (up to 20 Mbps uplink and up to 20 Mbps downlink)	B100	Integrated antenna from 16/20 dBi or external antenna up to 24/28 dBi	Up to 2 E1/T1 links (optional)
<b>BreezeNET B100</b>	5.x GHz	10, 20 and 40 MHz channels	Up to 73 Mbps (up to 70 Mbps uplink and up to 70 Mbps downlink)	None		Up to 4 E1/T1 links (optional)
<b>BreezeNET B300</b>	4.9 - 5.9 GHz	5, 10, 20 and 40 MHz channels	Up to 250 Mbps*			

\* Subject to local regulations

	B10	B14	B28	B100	B300	
<b>Radio</b>	<b>Frequency</b>	5.47-5.725 GHz 5.725-5.875 GHz	5.150-5.350 GHz 5.250-5.350 GHz 5.470-5.725 GHz 5.725 - 5.875 GHz (universal country code with HW Rev C) 5.725-5.850 GHz (all other country codes) 2.400-2.4835 GHz	5.150-5.350 GHz 5.250-5.350 GHz 5.470-5.725 GHz 5.725 - 5.875 GHz (universal country code with HW Rev C) 5.725-5.850 GHz (all other country codes)	5.150-5.350 GHz 5.250-5.350 GHz 5.470-5.725 GHz 5.725 - 5.875 GHz (universal country code with HW Rev C) 5.725-5.850 GHz (all other country codes)	4.9 GHz-5.9 GHz
	<b>Modulation</b>	OFDM modulation, BPSK, QPSK, QAM16, QAM64				
	<b>Radio Type</b>	OFDM TDD				
	<b>Channel BW</b>	10 MHz / 20 MHz	10 MHz / 20 MHz / 40 MHz	10 MHz / 20 MHz / 40 MHz	10 MHz / 20 MHz / 40 MHz	5 MHz / 10 MHz / 20 MHz / 40 MHz
	<b>Maximal Net Throughput</b>	10 Mbps	14 Mbps	28 Mbps	73 Mbps	250 Mbps
	<b>Output Power (at antenna port)</b>	Up to 21 dBm (dependant upon regulation)				Up to 18 dBm (dependant upon regulation)
<b>Antenna</b>	<b>RB/BU 2.4 GHz External Antenna</b>		24 dBi, 6° horizontal x 10° vertical flat			
	<b>RB/BU 2.4 GHz Integrated Antenna</b>		16 dBi 20° horizontal x 20° vertical flat EN 301 525 v1.1.1 TS 2 (2000-06) compliant			
	<b>RB/BU 5 GHz External Antenna</b>		23 dBi, 9° flat 28 dBi, 4.5° flat		ANT, T.S, 4.9-6 GHz, 9° Dual polarized, 23 dBi ANT, T.S, 4.9-6 GHz, 6° Dual polarized, 28 dBi	
	<b>RB/BU 5 GHz Integrated Antenna</b>	14° h/v 20 dBi EN 302 085, Class TS 1,2,3,4,5 compliant		21 dBi, 10.5° horizontal x 10.5° vertical, flat EN 302 085, Class TS 1,2,3,4,5 compliant		ANT, T.S, 4.9-6 GHz, 9° Dual polarized, 23 dBi
<b>Data Communication</b>	<b>Standard and Network Compliance</b>		IEEE 802.3 CSMA/CD 1x 10/100BaseT		IEEE 802.3 CSMA CD, ARP filter/proxy MAC/IP filtering Layer 2 switch 1x or 2x Ethernet 10/100BaseT	
	<b>VLAN Support</b>		Based on 802.1q		802.1q transparent or frame tagging and re-tagging	
	<b>QoS</b>		Wireless Link Prioritization (WLP) 802.1p DRAP IP TOS/DSCP Fast Packet Processing		QoS enforcer Classification and traffic limiting based on: IP ToS/DSCP/802.1p tags VLAN/IP/MAC address and protocol	
	<b>E1/T1 IDU Interfaces</b>		Three 10/100base T. Complies with IEEE 802.3 LAN, WAN, and local standards, Four T1/E1: RJ-45. Complies with ANSI T1.403, ITU-T G.703; AT&T TR-62411			
	<b>Security</b>		a. Association protocol - ESSID b. WEP 128, AES 128, FIPS 197 c. IP level filtering for user addresses or protocols d. Access direction and IP address filtering for management		Mutual key-based authentication Storm/flood protection Password protection Protocol messages encryption Over-the-air payload encryption IP Firewall	

## Apéndice D

### Estación Base y Unidad de Suscriptor ALVARIONBreezeVL

<b>Unidad de acceso (AU)</b>  	<b>Estación de base tipo chasis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funcionalidades NLOS</li> <li>Chasis clase operador</li> <li>1 a 6 sectores por chasis</li> <li>Capacidad de tener bandas de frecuencia distintas en un mismo chasis</li> <li>Alimentación redundante opcional</li> <li>Capacidad neta total &gt; 192 Mbps (32 x 6 sectores)</li> </ul>	<b>AUS-B5 multisector</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Opción nivel de entrada</li> <li>Soporta hasta 25 suscriptores por sector</li> <li>Escalable para AU-B5 completo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paga conforme crece</li> <li>Configuración optimizada para aplicaciones verticales</li> <li>Soporta todos los modelos de SU en el sector</li> <li>Desempeño optimizado para aplicaciones de seguridad pública en instalaciones urbanas</li> </ul>
	<b>Estación de base autónoma</b>  	<ul style="list-style-type: none"> <li>AU de sector único compuesto por una unidad en interiores (IDU) y otra en exteriores (ODU).</li> <li>Exteriores o solución CC opcional</li> </ul>	<b>Sector único: AUS-SA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Opción nivel de entrada</li> <li>Soporta hasta 25 suscriptores por sector</li> <li>Mejorable para AU-SA completo</li> </ul>	
<b>Unidad de suscriptor (SU)</b> <b>Compuesto por una unidad en interiores (IDU) y otra en exteriores</b>  	<b>SU-3, SU-6, SU-54</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad agregada neta: SU-3: 3 Mbps, SU-6: 6 Mbps, SU-54: 32 Mbps</li> <li>Instalación rápida con LED para alineación rápida</li> <li>Soporta 2 servicios distintos por SU (2 niveles de prioridad)</li> <li>Alcance de cobertura de hasta 30 km (LOS)</li> </ul>	<b>Aplicaciones de datos, voz y video</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alcance extendido</li> <li>Opciones de mejora Paga según crece: SU-3→SU6, SU-3→SU-Video, SU-3→SU54, SU-6→SU-Video, SU-6→SU54, SU-Video→SU-54</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soporte Paga según crece</li> <li>Configuración optimizada para aplicaciones verticales</li> <li>Soporte SU en vector</li> </ul>
	<b>SU-Video</b>  	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad asimétrica fija: 8 Mbps uplink y 12 Mbps downlink</li> <li>Disponible en 5.4 GHz y 5.8 GHz</li> <li>Instalación rápida con LED para alineación rápida</li> <li>Soporta 2 niveles de servicios distintos por SU</li> <li>Alcance de cobertura de hasta 30 km (LOS)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Ancho de banda optimizado con soporte para aplicaciones de video</li> </ul>

## Especificaciones

### Radio

<b>Frecuencia</b> 902-927 MHz, 4.9-5.1 GHz, 5.15-5.35 GHz, 5.47-5.725 GHz, 5.725-5.875 GHz <b>Método de acceso de radio</b> Dúplex por División de tiempo (TDD) <b>Canal</b> AU/SU: 5 MHz (900 MHz), 10 MHz, 20 MHz (4.9, 5.15-5.875 MHz) <b>Resolución de frecuencia central</b> 1 MHz (900 MHz), 5 MHz, 10 MHz	<b>Alimentación entrada máx.</b> en puerto de antena] -48 dBm típico <b>Alimentación de salida máxima</b> (en puerto de antena) AU: pasos -10 dBm a 21 dBm, 1 dB AU (900 MHz): pasos -10 dBm a 27 dBm, 1 dB SU: -10 dBm a 21 dBm, ajustado automáticamente por ATPC SU (900 MHz): -10 dBm a 27 dBm, ajustado automáticamente por ATPC	<b>Esquema modulación (adaptativo)</b> OFDM: BPSK, QPSK, QAM 16, QAM 64 Puerto de antena (AU-E) Tipo- N 50 ohm <b>Antena integrada del suscriptor</b> 20 dBi (19 dBi en banda 4.9-5.1 GHz), 14° H/V, panel plano integrado <b>Antenas AU</b> 60°: 16dBi, sector 60° vertical 90°: 16dBi, sector 90° vertical 120°: 15dBi, sector 120° vertical 360°: 8dBi, Omni horizontal
---	---	---



<b>AU Output Power (@ antenna port)</b>	-10 to 21dBm, Adjustable in 1dB steps Note: the output power is limited according to the antenna gain in order to comply with 30dBm with EIRP regulation							
<b>SU Output Power (@ antenna port)</b>	-10 to 21dBm, ATPC							
<b>Modulation<sup>1</sup></b>	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM							
<b>Modulation levels</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Sensitivity (dBm)</b>	-89	-88	-86	-84	-81	-77	-73	-71

<sup>1</sup>A modulation level represents the modulation and transmit rate. BreezeACCESS VL has 8 modulation levels representing 8 modulation rates.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES *Mauricio Galeano 6.*  
*Isabel Cristina Colle*

FIRMA ASESOR *Sara Maria Lopez 7.*

FECHA ENTREGA: 5 de Junio de 2015

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_