



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PAEZ

**DISEÑO DE INTERCONEXIÓN A TRAVÉS  
DE UN ENLACE DE MICROONDAS  
UTILIZANDO BANDAS LICENCIADAS.**

**Autor:** Méndez Delgado Jonathan Javier

C.I.: 24.303.242

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DISEÑO DE INTERCONEXIÓN A TRAVÉS DE UN ENLACE DE  
MICROONDAS UTILIZANDO BANDAS LICENCIADAS.**

Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título de  
**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**Autor:** Jonathan Méndez  
**Tutor:** Ing. Rainier Blanco

San Diego, junio de 2019



FI-T-009-2019-ICR

Valencia, 21 de Marzo de 2019

Ciudadano:  
Jonathan Méndez  
C.I: 24.303.242  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2019 de fecha 21-03-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **DISEÑO DE INTERCONEXIÓN A TRAVÉS DE UN ENLACE DE MICROONDAS UTILIZANDO BANDAS LICENCIADAS** Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

Se ratifica la designación del Ing. Rainier Blanco, C.I: 11.556.607 y la Ing. Alicia De Pizzella, C.I: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira  
Decano de la Facultad de Ingeniería





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE TELECOMUNICACIONES  
CARRERA INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, hace constar que ha leído el informe de pasantías presentado por el ciudadano Jonathan Javier Méndez Delgado, portador de la cedula de identidad N° 24.303.242, titulado **DISEÑO DE INTERCONEXIÓN A TRAVÉS DE UN ENLACE DE MICROONDAS UTILIZANDO BANDAS LICENCIADAS**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones, y acepta la tutoría del mencionado proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación: según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes reglamentos.

En San Diego, a los 18 días del mes de DICIEMBRE del año dos mil dieciocho.

Ing. Rainier Blanco

C.I: 11.556.607

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp
ÍNDICE DE FIGURAS.....	Viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULOS</b>	
<b>I. EL PROBLEMA</b>	
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Alcance.....	5
1.6. Limitaciones.....	5
<b>II. MARCO REFERENCIAL CONCEPTUAL</b>	
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1 Radiocomunicaciones.....	7
2.2.2 Propagación terrestre de las ondas electromagnéticas.....	8
2.2.2.1 Propagación de ondas terrestres.....	8
2.2.2.2 Propagación de las ondas espaciales .....	9
2.2.3 Pérdidas en trayectoria por el espacio libre.....	9
2.2.4 Margen de desvanecimiento.....	10
2.2.5 Zona Fresnel.....	11
2.2.6 Radioenlace.....	13
2.2.7 Microondas .....	14
2.2.7.1 Internet por microondas.....	20
2.2.8 Cálculo de enlace microondas.....	21
2.3. Definición de Términos Básicos.....	27

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Nivel de investigación.....	29
3.2 Tipo de investigación.....	30
3.3 Diseño de la Investigación.....	30
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	31
3.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	31
3.4.2 Instrumentos de Recolección de Datos.....	31
3.5 Análisis de datos.....	32
3.6 Fases de la investigación.....	32

### **IV RESULTADOS.....**

4.1 Fase I: Diagnóstico de la situación actual de la conexión entre Valencia y Tinaquillo.....	34
4.2 Fase II: Estudio de las posibles soluciones que satisfagan las necesidades y requerimientos para interconectar Valencia y Tinaquillo.....	36
4.2.1 Fibra Óptica.....	36
4.2.2 Enlaces Satelitales.....	37
4.2.3 Metro Ethernet.....	37
4.2.4 Enlaces de microondas utilizando bandas licenciadas.....	38
4.2.5 Elección de la mejor alternativa para la interconexión entre sedes.....	39
4.3 Fase III: Diseño de un enlace de microondas dedicado con las mejores prestaciones posibles para interconectar Valencia y Tinaquillo .....	40
4.3.1 Elección de la frecuencia a utilizar.....	41
4.3.2 Descripción de equipos.....	41
4.3.2 Descripción de los enlaces utilizando software Radio Mobile.....	46
4.3.3 Cálculos Teóricos.....	57
4.3.4 Tablas de comparación entre cálculos simulados y teóricos.....	69
4.3.5 Requisitos Técnicos para licitación de frecuencias.....	71

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>74</b>
--------------------------	-----------

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS</b>	
Referencias Bibliográficas.....	<b>76</b>
Referencias Electrónicas.....	<b>76</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>Pp.</b>
1. Zona Fresnel.....	12
2. Red por microondas.....	16
3. Repetidores.....	18
4. Internet por Microondas.....	21
5. Trayectoria completa de transmisión.....	22
6. Esquema para una Investigación Explicativa.....	29
7. Red Baruta – Torre A1 / Baruta – Distribuidora GCS.....	36
8. Área de cobertura de una antena ubicada en Cerro Copey.....	40
9. Área de cobertura de una antena ubicada en Cerro El Amparo.....	41
10. AirFiber AF – 11FX.....	42
11. Duplexores AF – 11FX.....	44
12. AF – 11G35.....	45
13. Enlace Torre A1-Copey.....	48
14. Perfil Torre A1-Copey.....	49
15. Resultados Torre A1-Copey.....	49
16. Enlace Distribuidora GSC-Copey.....	50
17. Perfil Distribuidora GSC-Copey.....	51
18. Resultados Torre A1-Copey.....	51
19. Enlace Copey-El Amparo.....	52
20. Perfil Copey-El Amparo.....	53
21. Resultados Copey-El Amparo.....	54
22. Enlace El Amparo-Baruta.....	54
23. Perfil El Amparo-Baruta.....	55
24. Resultados El Amparo-Baruta.....	56
25. Patrón de radiación del AF-11G35-S45.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>Pp.</b>
1. Coordenadas de las localidades relevantes del Grupo Merino.....	<b>35</b>
2. Características técnicas de los equipos.....	<b>57</b>
3. Intensidad de la lluvia excedida (mm/h).....	<b>60</b>
4. Coeficientes que dependen de la frecuencia para estimar la atenuación	<b>60</b>
5. Comparación cálculos teóricos y simulados (Torre A1 – Copey).....	<b>69</b>
6. Comparación cálculos teóricos y simulados (Distribuidora GSC – Copey).....	<b>69</b>
7. Comparación cálculos teóricos y simulados (Copey – Amparo).....	<b>70</b>
8. Comparación cálculos teóricos y simulados (Amparo - Baruta).....	<b>70</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>	<b>Pp.</b>
A.....	79
B.....	80
C.....	81
D.....	87
E.....	88
F.....	92
G.....	96
T-1A.....	97
T-1B.....	98
T-2A.....	99
T-3.....	101
T-4.....	102
T-6.....	103
T-9.....	104
T-10.....	105



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE INTERCONEXIÓN A TRAVÉS DE UN ENLACE DE  
MICROONDAS UTILIZANDO BANDAS LICENCIADAS.**

**Autor:** Méndez Jonathan

**Tutor:** Blanco Rainier

**Fecha:** Junio, 2019

**RESUMEN INFORMATIVO**

El presente trabajo habla sobre las ventajas de utilizar las bandas licenciadas del espacio radioeléctrico a la hora de hacer un enlace de microondas, sobre el mismo enlace en bandas libres, ambas reguladas por Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). También se ahondará en todo el marco legal y los requerimientos para obtener una banda licenciada en Venezuela. Asimismo se le convencerá al lector, con demostraciones teóricas, por qué un enlace de microondas es más conveniente que una interconexión a través de cables, bien sea coaxial o de fibra óptica.

**Descriptor:** Radioenlaces, investigación, Bandas licenciadas.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, las operaciones y actividades existentes hacen uso de sistemas de comunicaciones, ya sean de carácter laboral o personal, de manera que las telecomunicaciones forman parte importante del día a día de la humanidad. Esto va relacionado con las diferentes facilidades y beneficios que pueden ofrecer, dentro de los cuales se encuentra: la comunicación en tiempo real desde cualquier ubicación geográfica, entre distancias muy amplias; lo cual se logra gracias a los diversos sistemas tecnológicos de comunicaciones. En la actualidad, existen empresas proveedoras de estos servicios capaces de ofrecer diferentes formas para comunicarse o de transmitir información entre una o más localidades.

En este sentido los enlaces de microondas es uno de los servicios más efectivos para lograr comunicaciones entre puntos muy distantes. Estos sistemas permiten interconectar sedes donde la transmisión de datos e información es fundamental, así como lo pueden ser distintos establecimientos de cualquier empresa o negocio.

En atención a lo planteado, esta investigación se estructura de la siguiente manera:

**Capítulo I:** este capítulo conforma la descripción del problema presentado para de esta forma comprender la necesidad que se tiene de desarrollar la propuesta de diseño de interconexión a través de un enlace de microondas entre las sedes Valencia y Tinaquillo; así como también se explica el objetivo general y sus objetivos específicos, la justificación de la investigación, límites y alcances.

**Capítulo II:** presenta los trabajos de investigación de diferentes autores los cuales se tomaron como antecedentes y los conceptos y bases teóricas que sustentan el desarrollo de este trabajo de grado.

**Capítulo III:** en este capítulo se describe la metodología y cada procedimiento a seguir para la realización de la propuesta presentada en el presente informe de forma tal que se obtenga los objetivos planteados.

**Capítulo IV: Resultados:** En este capítulo se pueden ver los resultados logrados en cada fase de la investigación los cuales llevan a las conclusiones finales.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del Problema.**

Desde el comienzo de los tiempos el ser humano ha tenido la necesidad de comunicarse entre sí, empleando distintos métodos para llevar a cabo mencionada acción, bien sea mediante el uso de la voz (que sin duda es la que facilita enormemente poder transmitir información), comunicarse a través de símbolos los cuales facilitan la difusión de ideas, así como también el uso de gestos para hacerse entender. Con la misma necesidad de comunicarse se fueron empleando materiales como medio de comunicación, tallar símbolos en madera o en rocas, forman partes de esos medios que han perdurado por años con el objetivo de informar. De igual manera se fueron utilizando distintos métodos cada vez más sofisticados para lograr transmitir un mensaje o información. Muchos de estos han logrado sobrevivir durante siglos como prueba de la evolución y necesidad del ser humano de lograr comunicarse con otros.

En la actualidad la comunicación sigue siendo una necesidad indispensable alrededor del mundo. Desde lograr la comunicación entre dos personas hasta acceder a información en cualquier momento y en cualquier lugar en tiempo real ya sea por medios tradicionales o por medios innovadores, es allí donde la tecnología está fuertemente relacionada con el desarrollo de las comunicaciones desde la invención de diferentes medios como el telégrafo, la radio, la telefonía fija, fax, telefonía móvil, el internet, teléfonos inteligentes, redes sociales entre otros y que a su vez dependen de la interconexión de telecomunicaciones por medio de cableado de cobre, fibra óptica, sistemas de microondas, redes que hacen posible llevar a cabo la transmisión de información a cualquier parte del mundo y por ende se considera pieza fundamental en las comunicaciones de hoy.

En la vida cotidiana de cada venezolano la comunicación forma parte de un sistema que hace funcionar su día a día, en cada lugar de trabajo, empresa, ente gubernamental; llevar o acceder a información es de vital importancia y se logra por medio de las diferentes tecnologías que existen para transportar información. Buscando aquella que brinde más seguridad y rapidez. De tal manera que estas tecnologías están en constante evolución.

A toda empresa, pequeña, mediana o grande, le interesa que sus diferentes sedes estén en comunicación continua en tiempo real, puesto que los diferentes departamentos que la conforman, necesitan estar al tanto de todo lo que pasa para que ésta funcione.

La comunicación entre sus sedes debe llevarse a cabo garantizando una alta fidelidad, confiabilidad y alto desempeño, esto se traduce en transmisiones que garanticen la conexión 24/7, entregar información sin ninguna modificación, calidad de servicio inmejorable, confidencialidad de la información, con sistemas redundantes que permitan trabajar bajo condiciones críticas y anormales sin ningún tipo de interrupción, velocidades que permitan obtener transmisión de datos en tiempo real para lograr de esta forma el funcionamiento correcto de la empresa.

Sin embargo, los costos para hacer esto realidad pueden llegar a ser muy elevados si quisiera lograrse a través de cableado (bien sea coaxial o de fibra óptica).

También existe la opción de utilizar VPN para comunicar las sedes, pero debido a la situación del país, los prestadores de este servicio lo hacen de una manera muy inestable.

Es por todo esto que la mejor opción es utilizar un enlace dedicado de microondas que, además de ser más económico, le genera a la empresa independencia a la hora de administrar sus datos.

Sin embargo, muchos usuarios al llevar a cabo un radioenlace de microondas, sufren una decepción al darse cuenta de que las velocidades que éste alcanza no satisfacen sus necesidades, todo esto debido a la gran cantidad de interferencia que existe en las bandas no licenciadas a nivel nacional.

## **1.2. Formulación del Problema**

Con lo mencionado anteriormente surge la siguiente interrogante:

¿De qué manera se puede mejorar la interconexión usando un enlace de microondas entre dos puntos?

## **1.3. Objetivos de la Investigación.**

### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar la interconexión a través de un enlace de microondas usando una banda licenciada entre las poblaciones de Valencia y Tinaquillo.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual de interconexión entre las ciudades de Valencia y Tinaquillo.
- Estudiar las soluciones alternativas para interconectar Valencia con Tinaquillo, exponiendo sus ventajas y desventajas.
- Diseñar el enlace de microondas dedicado utilizando la banda de 11 GHz para interconectar las ciudades de Valencia y Tinaquillo.

## **1.4 Justificación del Problema.**

Siendo que tanto la zona industrial de Valencia como la de Tinaquillo son los lugares con más sedes y empresas del centro del país, se decidió utilizar dichos lugares como referencia a la hora de lograr la interconexión por microondas. Este trabajo de investigación tiene como fin el estudio de la situación actual de la conexión entre las sedes principales de una empresa para de esta forma conocer las debilidades de este sistema sus causas y consecuencias, y partiendo de las fallas encontradas realizar una investigación empleando las herramientas y cálculos adecuados con el objetivo de proponer un diseño de interconexión que brinde las soluciones correspondientes más viables posibles para mejorar de manera exponencial la fiabilidad y confiabilidad de la comunicación entre las ciudades de Valencia y Tinaquillo

### **1.5. Alcances de la Investigación.**

Los principales beneficiarios serán las empresas o particulares que deseen crear una interconexión entre cualesquiera dos sedes ubicadas en Valencia o Tinaquillo. La implementación de esta propuesta también tiene como beneficio el logro de una comunicación con mayor fidelidad de tal manera que se transmita información sin ninguna modificación, con mayor confiabilidad, lo que permitirá que las sedes se encuentren interconectadas bajo cualquier condición durante todos los días del año a cualquier hora. De igual forma se aumentará el ancho de banda para la transmisión y recepción de datos mejorando las velocidades de transmisión y habilitando la transmisión de datos más pesados.

### **1.6. Limitaciones.**

La propuesta de este diseño tiene como limitaciones el factor económico ya que para la implementación de esta propuesta es necesario hacer una inversión de una considerable suma de dinero para adquirir los equipos necesarios para el enlace entre las sedes Valencia y Tinaquillo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÒRICO

#### 2.1. Antecedentes.

Para el adecuado desarrollo de la presente investigación es necesario consultar estudios con semejanza respecto al tema para de esta manera tener una fuente de apoyo. A continuación se muestran algunas de estas investigaciones.

Gonzales, L. (2015), realizó una investigación la cual se titulaba: **Propuesta para la mejora de la red de enlaces de microondas del Grupo Inversiones Geandina C.A Valencia Estado Carabobo**. Presentado ante la facultad de ingeniería de la Universidad José Antonio Páez para optar por el título de ingeniero en telecomunicaciones, esta investigación tuvo como objetivo principal “proponer una mejora de la calidad de servicio de la red de enlaces de microondas del Grupo Inversiones Geandina”, el desarrollo de esta propuesta consistió en el diagnóstico de la situación presentada en la mencionada empresa con el fin de proponer las acciones necesarias para mejorar los enlaces que prestan servicio en la empresa.

La investigación anterior guarda relación con este informe en las técnicas realizadas y la metodología utilizada para realizar la investigación, teniendo como relación principal la necesidad de transmitir información, datos de manera efectiva con la mayor confiabilidad posible.

Por otra parte la investigación realizada por Carcotsicas, E. (2012), su trabajo titulado “**Estudio y diseño de una red de interconexión entre las sedes de Onlyticket eventos Caracas, Puerto Ordaz y Panamá**”, tuvo como propósito diseñar una red de interconexión que permitiera el intercambio de información entre las tres sedes ubicadas en Caracas, Puerto Ordaz y una en Panamá y de esa forma realizar un diseño de red eficiente, que garantizara la transmisión y recepción de voz, datos y video.

La vinculación de este antecedente con la investigación presentada es evidente, ya que en ambas se desea diseñar una interconexión entre localidades de una misma empresa para la transmisión de datos.

Así mismo Carvajal, M. (2012), en su investigación titulada: **“Diseño eficiente de redes de transporte de datos para los sistemas y servicios de tráfico inteligente ofrecidos por el grupo IntecSolutions”**, estableció como criterio de su investigación solucionar problemas de diseño para transportar datos de forma eficiente, se realizó el análisis de las estrategias anteriores para a partir de allí identificar las oportunidades de mejora. Para de esta forma ofrecer una red de transporte de datos estable para los servicios y sistemas de tráfico inteligente ofrecidos por la empresa.

Precisamente esto último relaciona la investigación presentada al proyecto a desarrollar, la estabilidad en el transporte de datos es una de las mejoras que se quiere obtener mediante el diseño de un nuevo enlace de microondas, es por esto que las estrategias utilizadas en este antecedente para lograr esas mejoras son de gran apoyo para este informe.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1 Radiocomunicaciones**

La ionosfera está constituida por un plasma, es decir un conjunto de partículas cargadas de ambos signos que tiene una carga neta nula o prácticamente nula, y que presenta un comportamiento colectivo. Las cargas que existen en la ionosfera son consecuencia directa de la radiación cósmica y muy especialmente de la solar.

Cuando una onda electromagnética incide en un plasma, éste se puede comportar como un metal o como un dieléctrico, dependiendo de que la frecuencia de la onda sea muy baja o muy alta, respectivamente. Todo plasma tiene una frecuencia característica que delimita su comportamiento como conductor de su comportamiento como dieléctrico: La frecuencia de corte o frecuencia de plasma.

Esta frecuencia aumenta proporcionalmente con la raíz cuadrada de la densidad de partículas cargadas. Los mecanismos óptimos para transmitir energía electromagnética a grandes distancias dependen en gran medida de la frecuencia de la

onda. La transmisión de señal en una dirección privilegiada recibe habitualmente el nombre de transmisión punto a punto o LOS (Line Of Sight). Este es el mecanismo de propagación más habitual en los sistemas de comunicación modernos. Así pues, no resulta extraño que las microondas sean tan relevantes en la transmisión de señal a largas distancias.

### **2.2.2 Propagación terrestre de las ondas electromagnéticas**

Las ondas electromagnéticas de radio que viajan dentro de la atmósfera terrestre se llaman ondas terrestres, y las comunicaciones entre dos o más puntos de la tierra se llaman radiocomunicaciones terrestres. Las ondas terrestres se ven influidas por la atmósfera y por la tierra misma. En las radiocomunicaciones terrestres, las ondas se pueden propagar de varias formas, que dependen de la clase del sistema y del ambiente. Como se dijo antes, las ondas electromagnéticas también viajan en línea recta, excepto cuando la tierra y su atmósfera alteran sus trayectorias. En esencia, hay tres formas de propagación de ondas electromagnéticas dentro de la atmósfera terrestre: onda terrestre, onda espacial (que comprende ondas directas y reflejadas en el suelo) y ondas celestes o ionosféricas.

#### **2.2.2.1 Propagación de ondas terrestres**

Una onda terrestre es una onda electromagnética que viaja por la superficie de la Tierra. Por eso a las ondas terrestres también se les llama ondas superficiales. Las ondas terrestres deben estar polarizadas verticalmente. Esto se debe a que el campo eléctrico, en una onda polarizada horizontalmente, sería paralelo a la superficie de la tierra, y esas ondas se pondrían en corto por la conductividad del suelo. Con las ondas terrestres, el campo eléctrico variable induce voltajes en la superficie terrestre, que hacen circular corrientes muy parecidas a las de una línea de transmisión. La superficie terrestre también tiene pérdidas por resistencia y por dieléctrico. Por consiguiente, las ondas terrestres se atenúan a medida que se propagan. Se propagan mejor sobre una superficie buena conductora, como por ejemplo, agua salada, y se propagan mal sobre superficies desérticas. Las pérdidas en las ondas terrestres aumentan rápidamente al aumentar la

frecuencia. Por consiguiente, su propagación se limita en general a frecuencias menores que 2 MHz.

#### **2.2.2.2 Propagación de las ondas espaciales**

La propagación de la energía electromagnética en forma de ondas espaciales incluye la energía irradiada que viaja en los kilómetros inferiores de la atmósfera terrestre. Las ondas espaciales incluyen ondas directas y las reflejadas en él. Las ondas directas viajan esencialmente en línea recta entre las antenas de transmisión y recepción. La propagación de ondas espaciales directas se llama transmisión por línea de vista (LOS, *por line-of-sight*). Por consiguiente, la propagación directa de ondas espaciales está limitada por la curvatura de la Tierra. Las ondas reflejadas en el suelo son las que refleja la superficie terrestre cuando se propagan entre las antenas emisora y receptora.

#### **2.2.3 Pérdidas en trayectoria por el espacio libre**

La pérdida en trayectoria por el espacio libre se suele definir como la pérdida sufrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta por un vacío, sin absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos. Es una definición mala y con frecuencia engañosa. La pérdida en trayectoria por el espacio libre es una cantidad técnica artificial que se originó debido a la manipulación de las ecuaciones de presupuesto de un enlace de comunicaciones, que deben tener determinado formato en el que se incluye la ganancia de la antena transmisora, la pérdida en trayectoria por el espacio libre y el área efectiva de la antena receptora. En realidad no se pierde energía alguna; tan sólo se reparte al propagarse alejándose de la fuente, y se produce una menor densidad de potencia en determinado punto a determinada distancia de la fuente. En consecuencia, un término más adecuado para definir el fenómeno es pérdida por dispersión. La pérdida por dispersión se debe simplemente a la ley del cuadrado inverso. La ecuación que define a la pérdida en trayectoria por el espacio libre es:

$$L_p = \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi Df}{c} \right)^2$$

### Ecuación 1

Siendo  $L_p$  = pérdida en trayectoria por el espacio libre (adimensional)

$D$  = distancia (kilómetros)

$f$  = frecuencia (hertz)

$\lambda$  = longitud de onda (metros)

$c$  = velocidad de la luz en el espacio libre ( $3 \times 10^8$  metros por segundo)

#### 2.2.4 Margen de desvanecimiento

Las radiocomunicaciones entre lugares remotos, sean de tierra a tierra o de tierra a satélite, requieren la propagación de señales electromagnéticas por el espacio libre. Al propagarse una onda electromagnética por la atmósfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y de largo plazo. Esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo, etc.; a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal.

A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento. En esencia, el margen de desvanecimiento es un “factor espurio” que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por trayectorias múltiples (pérdida por trayectorias múltiples) y la sensibilidad del terreno. Estas características causan condiciones atmosféricas temporales y anormales que alteran la pérdida por trayectoria en el espacio libre, y suelen ser perjudiciales para la eficiencia general del sistema. El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema. Así, el margen de desvanecimiento se incluye

en la ecuación de ganancia de un sistema como una pérdida. Al resolver las ecuaciones de confiabilidad de Barnett-Vignant para una disponibilidad anual especificada en un sistema no protegido sin diversidad se obtiene la siguiente ecuación:

$$Fm = 30\log D + 10\log(6ABf)$$

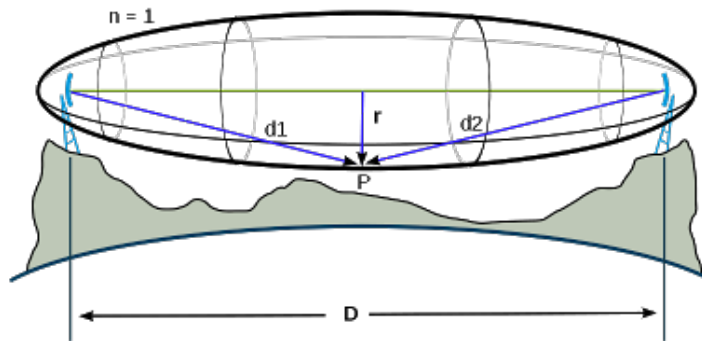


Figura 1: Zona Fresnel

Fuente: <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>

Así, la fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta al emisor y el receptor. Tomando su valor de fase como cero, la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a  $180^\circ$ , adoptando la forma de un elipsoide de revolución. La segunda zona abarca hasta un desfase de  $360^\circ$ , y es un segundo elipsoide que contiene al primero. Del mismo modo se obtienen las zonas superiores. La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel.

La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del factor K (curvatura de la tierra) considerando que para un  $K=4/3$  la primera zona de fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con  $K=2/3$  se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel. Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF, que de forma simple, es la línea recta que une los focos de las antenas transmisora y receptora.

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

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

**Ecuación 3**

Donde:

$r_n$  = radio de la  $n$ -ésima zona de Fresnel en metros ( $n=1,2,3\dots$ ).

$d_1$  = distancia desde el transmisor al objeto en metros.

$d_2$  = distancia desde el objeto al receptor en metros.

Aplicando la fórmula se obtiene del radio de la primera zona de Fresnel ( $r_1$  de la fórmula superior), conocida la distancia entre dos antenas y la frecuencia en la cual transmiten la señal, suponiendo al objeto situado en el punto central. En unidades del SI:

$$r_1 = 8,657 \sqrt{\frac{D}{f}}$$

#### **Ecuación 4**

Donde

$r_1$  = radio en metros (m).

$D$  = distancia en kilómetros (km) ( $d_1 = d_2$ ,  $D = d_1 + d_2$ ).

#### **2.2.6. Radioenlace**

Se conoce como radioenlace a cualquier interconexión entre terminales de telecomunicación efectuada por ondas electromagnéticas, específicamente por aquellas que entran en el rango de las señales de radio.

Los radios enlaces, establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex, de donde se deben transmitir dos portadoras moduladas: una para la Transmisión y otra para la recepción. Al par de frecuencias asignadas para la transmisión y recepción de las señales, se lo denomina radio canal. Una onda portadora es una forma de onda, generalmente sinusoidal, que es modulada por una señal que se quiere transmitir. Ésta onda portadora es de una frecuencia mucho más alta que la de la señal moduladora (la señal que contiene la información a transmitir).

Al modular una señal se desplaza su contenido espectral en frecuencia, ocupando un cierto ancho de banda alrededor de la frecuencia de la onda portadora. Esto permite

multiplexar en frecuencia varias señales simplemente utilizando diferentes ondas portadoras y conseguir así un uso más eficiente del espectro de frecuencias. En otras palabras, la modulación de onda codifica a la señal en una señal de radiofrecuencia, a la que se llama portadora.

### **Clasificación:**

Según sean sus terminales se dividen en:

**Radioenlace de servicio fijo:** sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente estos enlaces se explotan entre los 800 MHz y 42 GHz.

**Radioenlace de servicio móvil:** como el nombre lo indica, son aquellas en la que las terminales son móviles.

### **Por la situación de las terminales pueden ser:**

Todos en la tierra: radioenlaces terrenales

Uno o más repetidores en satélite: radioenlace espacial o por satélite

Según el tipo de señal que transmiten:

**Analógicas:** fueron las primeras. Tenían finalidad de transmitir canales telefónicos y de televisión

**Digitales:** permiten regeneración de la señal, mayor tolerancia al ruido e interferencias.

### **2.2.7. Microondas**

La radiocomunicación por microondas se interpreta como la transmisión de datos o voz a través de radiofrecuencias con longitudes de onda en la región de frecuencias de microondas. Se describe como microondas a aquellas ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde los 300 MHz hasta los 300 GHz o aún más. Por consiguiente, las señales de microondas, a causa de sus altas frecuencias, tienen longitudes de onda relativamente pequeñas, de ahí el nombre de “microondas“. Así por ejemplo la longitud de onda de una señal de microondas de 100 GHz es de 0.3 cm., mientras que la señal de 100 MHz, como las de banda comercial de FM, tiene una

longitud de 3 metros. Las longitudes de las frecuencias de microondas van de 1 a 60 cm., un poco mayores a la energía infrarroja.

Antenas de tipo rejilla, pueden ser usadas en frecuencias de microondas bajas, por debajo de 2.5 GHz. Gran parte de los sistemas de comunicación establecidos desde mediados de la década de 1980 es de naturaleza digital y como es lógico transportan información en forma digital. Sin embargo, los sistemas terrestres de radios repetidoras de microondas que usan portadores moduladas en frecuencia (FM) o moduladas digitalmente ya sea en QAM o en PSK, siguen constituyendo el 35% del total de los circuitos de transporte de información en los Estados Unidos. Existen una variedad de sistemas de microondas funcionando a distancias que varían de 15 a 4000 millas, los sistemas de microondas de servicio interestatal o alimentador se consideran en general de corto alcance, porque se usan para llevar información a distancias relativamente cortas, por ejemplo, hacer una radiocomunicación entre ciudades que se encuentran en un mismo país. Los sistemas de microondas de largo alcance son los que se usan para llevar información a distancias relativamente mucho más largas, por ejemplo, en aplicaciones de rutas interestatal y de red primaria.

Las capacidades de los sistemas de radio de microondas van desde menos de 12 canales de banda de voz hasta más de 22000. Los primeros sistemas tenían circuitos de banda de voz multiplexados por división de frecuencia, y usaban técnicas convencionales, de modulación en frecuencia no coherente, los más modernos tienen circuitos de banda de voz modulados por codificación de pulsos y multiplexados por división de tiempo usan técnicas de modulación digital más modernas, como la modulación de conmutación de fase (PSK) o por amplitud en cuadratura (QAM).

En telecomunicaciones, las microondas son usadas en radiodifusión, ya que estas pasan fácilmente a través de la atmósfera con menos interferencia que otras longitudes de onda mayores. También hay más ancho de banda en el espectro de microondas que en el resto del espectro de radio. Usualmente, las microondas son usadas en programas informativos de televisión para transmitir una señal desde una localización remota a una estación de televisión mediante una camioneta especialmente equipada.

Una red por microondas es un tipo de red inalámbrica que utiliza microondas como medio de transmisión. El protocolo más frecuente es el IEEE 802.11b y transmite a 2.4 GHz, alcanzando velocidades de 11 Mbps (Megabits por segundo). Otras redes utilizan el rango de 5,4 a 5,7 GHz para el protocolo IEEE 802.11a. (Ver figura 2)

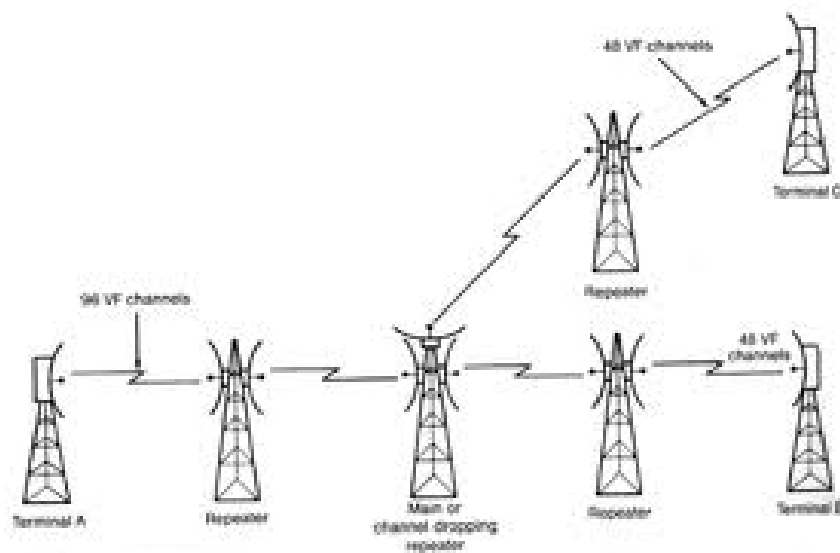


Figura 2 Red por microondas.

Fuente: <http://ingenierosdetelecomunicaciones.blogspot.com/p/tv-digital.html>

La antena utilizada generalmente en las microondas es la de tipo parabólico. El tamaño típico es de un diámetro de unos 3 metros. La antena es fijada rígidamente, y transmite un haz estrecho que debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Estas antenas de microondas se deben ubicar a una altura considerable sobre el nivel del suelo, con el fin de conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y poder superar posibles obstáculos. Sin obstáculos intermedios la distancia máxima entre antenas es de aproximadamente 150 km, con antenas repetidoras, claro está que esta distancia se puede extender, si se aprovecha la característica de curvatura de la tierra, por medio de la cual las microondas se desvían o refractan en la atmósfera terrestre.

Por ejemplo dos antenas de microondas situadas a una altura de 100 m pueden separarse una distancia total de 82 km, esto se da bajo ciertas condiciones, como terreno

y topografía. Es por ello que esta distancia puede variar de acuerdo a las condiciones que se manejen. La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y re direccionan la señal, es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos.

La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas.

Reflector parabólico: se construye de fibra de vidrio o aluminio. El caso de fibra de vidrio se construye con un laminado reforzado con resina poliéster; la superficie se metaliza con Zinc.

Eficiencia: en una antena se ve reducida la ganancia por las siguientes causas:

- Spillover: la potencia incidente es irradiada en todas las direcciones por el borde de la parábola (rendimiento 90%).
- El iluminador tiene un diagrama de emisión que abarca más que la superficie de la antena (rendimiento de 70%).
- El iluminador absorbe parte de la energía reflejada en la parábola por que obstruye el camino (rendimiento de 95%).
- La rugosidad del reflector produce una diferencia de fase en las ondas reflejadas (rendimiento de 93%).
- Se genera una diferencia de fase cuando el iluminador no está exactamente en el foco de la parábola (rend. 98%).
- Como el reflector no es un conductor ideal parte de la energía penetra en el material y es absorbida (rendimiento 99%). (Ver figura 3)

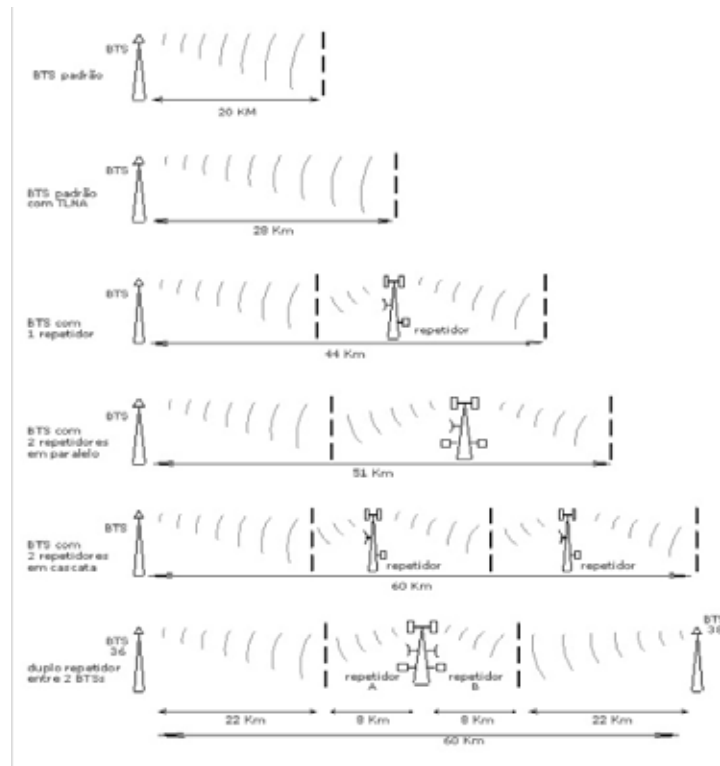


Figura 3. Repetidores

Fuente: <http://ingenierosdetelecomunicaciones.blogspot.com/p/tv-digital.html>

**Repetidor Único** ( ): la ubicación física del repetidor puede ser más allá del límite de 20km mencionado, considerando el uso optimizado de una antena donadora en el repetidor, con características directivas y de alta ganancia. El repetidor es asociado a una o más antenas de suscriptores que se encargan de iluminar las áreas de interés.

La antena opuesta a la BTS donadora ilumina la mayor parte del área pretendida y opera típicamente con un 75% de la potencia total de transmisión proveída por el repetidor; otra, direccionada para la BTS, opera con el 25% restante de la potencia y atiende a un área menor, en principio el área con deficiencia de señal que debería ser atendida por la BTS. El control de estas potencias para cada antena es obtenido por un dispositivo denominado divisor de potencias (*powerdivider o tapper*). El radio de

cobertura típico obtenido puede ser de 44km cuando comparado a los 20km del ejemplo inicial.

**Repetidores paralelos ( ):** son utilizados dos repetidores en un único local, a una distancia mayor que en relación al repetidor único. Por este motivo, la antena donadora debe tener características aún más superiores, principalmente en relación a la ganancia. Las dos antenas de suscriptores, presentando las mismas orientaciones básicas que en el caso del repetidor único, operan con el 100% de la potencia proveída por cada repetidor e iluminan áreas equivalentes en cobertura, lo que al final resulta en un radio típico de cerca de 51km si comparado al ejemplo inicial.

Esta configuración es la ideal para topografías llanas o planas y tiene como característica marcante un mayor grado de confiabilidad de atención, teniendo en vista que solamente un segmento pierde servicio en el caso de falla de uno de los repetidores.

**Repetidores en cascada ( ):** los *sites* repetidores son montados en serie (o en línea) del punto de vista de la topografía. Cada repetidor puede ser instalado y configurado de forma idéntica a la del repetidor único: la antena opuesta a la BTS donadora ilumina la mayor parte del área pretendida, operando típicamente con el 75% de la potencia total de transmisión proveída por el repetidor; otra, direccionada para la BTS, opera con el 25% restante de la potencia y atiende a un área menor, en principio al área con deficiencia de señal que debería ser atendida por la BTS o por el repetidor anterior.

Es importante en este punto observar un detalle: el segundo (último) repetidor de la cascada tiene como estación donadora no la BTS, sino el repetidor anterior. Eso, naturalmente resulta en una degradación proporcional en el desempeño global de la celda, lo que debe ser considerado cuando se pretende usar más de dos repetidores en una aplicación en cascada. Esta configuración es indicada para los casos de regiones accidentadas, con dificultades de línea de visada. El radio de cobertura típico obtenido puede ser de 60km.

Duplo repetidor entre dos BTSs: en esa configuración, dos repetidores son en principio instalados en el lugar de una BTS (en el ejemplo del dibujo, en el lugar de la

BTS 37). En esta forma de proyecto, es colocado un repetidor duplo a cada segunda BTS a lo largo de la ruta. Visto de otra manera, esta configuración funciona como si sustituyese a una BTS de dos sectores. La forma que cada repetidor ilumina el área es diferente en relación al caso de los repetidores en paralelo y cascada, vistos anteriormente.

En aquellos ejemplos, cada repetidor ilumina de vuelta la región que debería ser cubierta por la respectiva BTS donadora, una especie de inversión de sentido. En el caso del repetidor duplo entre dos BTSs, es más común que cada repetidor continúe iluminando para adelante, o sea, las señales de la BTS 36 son repetidas en dirección del área entre el repetidor y la BTS 38. Lo mismo ocurre en el sentido inverso. Ese es un caso típico de atención a las carreteras. Las distancias típicas son las mostradas en el dibujo, que sin embargo tiene carácter sólo referencial. Esas distancias pueden variar en función de las características inherentes a cada región.

Configuraciones mixtas: una celda original, comandada por una BTS, puede abrigar configuraciones mixtas entre las mencionadas. Obviamente, los proyectistas deben redoblar la atención en este aspecto, considerando siempre que cada repetidor agregado puede provocar una degradación proporcional en el desempeño de la celda entera, caso el proyecto no sea bien en estructurado.

#### **2.2.7.1 Internet por microondas**

Muchas empresas que se dedican a ofrecer servicios de Internet, lo hacen a través de las microondas, logrando velocidades de transmisión y recepción de datos de 2.048 Mbps (nivel estándar ET5I, E1), o múltiplos.

El servicio utiliza una antena que se coloca en un área despejada sin obstáculos de edificios, árboles u otras cosas que pudieran entorpecer una buena recepción en el edificio o la casa del receptor y se coloca un módem que interconecta la antena con la computadora. La comunicación entre el módem y la computadora se realiza a través de una tarjeta de red, que deberá estar instalada en la computadora. (Ver figura 4)

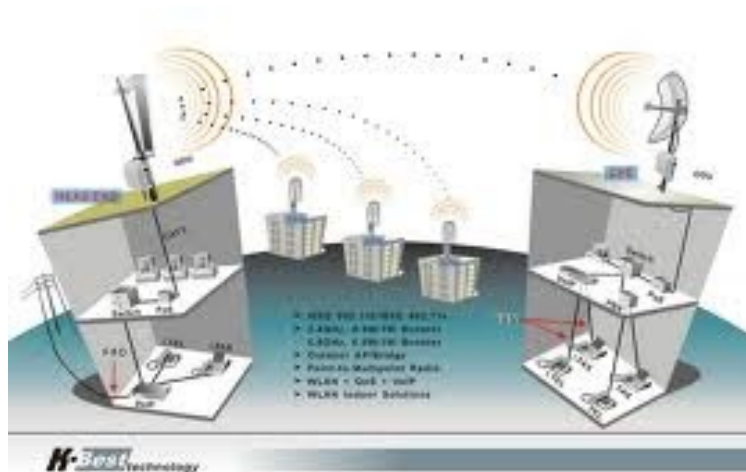


Figura 4: Internet por microondas

Fuente: <http://ingenierosdetelecomunicaciones.blogspot.com/p/tv-digital.html>

### 2.2.8. Cálculo de enlace microondas

Independientemente del buen equipamiento de red inalámbrica que posea y del despeje de la línea de vista, necesita calcular el presupuesto de potencia de enlace. Sobrecargar un radio enlace no hará necesariamente, que las cosas mejoren para su implementación y causará problemas a otros usuarios del espectro. Tener un buen presupuesto de potencia es esencial ya que es el requerimiento básico del funcionamiento del mismo. Puede ser comparado con los cimientos de una edificación: no importa lo bien hecho que estén el piso, las paredes y el techo, si el cimiento es débil, la edificación entera se caerá.

Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor (fuente de la señal de radio), a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado 4. Los elementos del presupuesto de enlace los elementos pueden ser divididos en 3 partes principales:

1. El lado de Transmisión con potencia efectiva de transmisión.
2. Pérdidas en la propagación.

3. El lado de Recepción con efectiva sensibilidad receptiva (*effectivereceivingsensibility*).

Un presupuesto de radio enlace completo es simplemente la suma de todos los aportes (en decibeles) en el camino de las tres partes principales.

Potencia del transmisor [dBm] – Pérdida en el cable TX [dB] + ganancia de antena TX [dBi] – Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB] + ganancia de antena RX [dBi] – Pérdidas en el cable del RX [dB] = Margen – Sensibilidad del receptor [dBm]. (Ver figura 5)

### Ecuación 5



Figura 5: Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor

Fuente: | [www.wilac.net/tricalca](http://www.wilac.net/tricalca)

Una cuestión importante a tener en cuenta es que si la potencia del transmisor y la del receptor no son iguales debe realizarse el cálculo del presupuesto tanto en el sentido transmisor-receptor como en el sentido inverso para asegurarse que el enlace se puede establecer efectivamente. Podría darse el caso, por ejemplo, de tener una radiobase de mucha potencia para que llegue a varios clientes a distintas distancias y que uno de los clientes reciba la señal pero no tenga la potencia suficiente para comunicarse con la radiobase con lo que el enlace no podrá establecerse.

**Potencia de Transmisión (Tx):** la potencia de transmisión es la potencia de salida del radio. El límite superior depende de las regulaciones vigentes en cada país, dependiendo de la frecuencia de operación y puede cambiar al variar el marco regulatorio. En general, los radios con mayor potencia de salida son más costosos. La potencia de transmisión del radio, normalmente se encuentra en las especificaciones técnicas del vendedor. Tenga en cuenta que las especificaciones técnicas le darán valores ideales, los valores reales pueden variar con factores como la temperatura y la tensión de alimentación.

**Pérdida en el cable:** Las pérdidas en la señal de radio se pueden producir en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación y normalmente se miden en dB/m o dB/pies. Independientemente de lo bueno que sea el cable, siempre tendrá pérdidas. Por eso, recuerde que el cable de la antena debe ser lo más corto posible. La pérdida típica en los cables está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. En general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará. Para darle una idea de cuán grande puede ser la pérdida en un cable, considere que está usando un cable RG58 que tiene una pérdida de 1 dB/m, para conectar un transmisor con una antena. Usando 3 m de cable RG58 es suficiente para perder el 50% de la potencia (3 dB).

**Ganancia de antena:** la ganancia de una antena típica varía entre 2 dBi (antena integrada simple) y 8 dBi (omnidireccional estándar) hasta 21 – 30 dBi (parabólica). Tenga en cuenta que hay muchos factores que disminuyen la ganancia real de una antena. Las pérdidas pueden ocurrir por muchas razones, principalmente relacionadas con una incorrecta instalación (pérdidas en la inclinación, en la polarización, objetos metálicos adyacentes). Esto significa que sólo puede esperar una ganancia completa de antena, si está instalada en forma óptima.

**Pérdidas de propagación:** Las pérdidas de propagación están relacionadas con la atenuación que ocurre en la señal cuando esta sale de la antena de transmisión hasta que llega a la antena receptora.

**Potencia Efectiva Radiada (PER):** Potencia Isotrópica Efectiva Radiada es la potencia aparente transmitida hacia el receptor, si se asume que la señal se irradia igualmente en todas direcciones, tal como una onda esférica que procede de un punto fuente; en otras palabras, el producto aritmético de la potencia suministrada a una antena y su ganancia.

$$PER = PEA + GtxdBd$$

### **Ecuación 6**

**Campo eléctrico E (dB $\mu$ V/m):** el campo radioeléctrico se genera en abundancia para la radiocomunicación. Las medidas relacionadas con la radiocomunicación son un campo en el que las medidas se efectúan con asiduidad. Medir el campo permite deducir la eficiencia de una antena o su adecuada colocación para asegurar una zona de emisión. O medir un campo permite identificar una emisión ilegal no autorizada. Medir el campo en emisiones radioeléctricas industriales o domésticas (como la medida en un sistema de calentamiento por microondas) es otra aplicación habitual.. La energía de un campo electromagnético se mide en forma de densidad de potencia, o en unidades de W/m<sup>2</sup> (vatios por metro cuadrado).

Esta medida no se emplea en la práctica. Lo que se mide realmente es el la intensidad de campo. Se puede expresar como intensidad del campo eléctrico o la intensidad del campo magnético. La forma habitual de medida para campos radioeléctricos es la medida del campo eléctrico. Así pues, es habitual encontrar, tanto en la normativa, como en la instrumentación, las medidas de campo eléctrico expresadas en dB $\mu$ V/m. Para razones prácticas de ingeniería el campo eléctrico se calculó mediante las siguientes ecuaciones:

$$E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} = PER \text{ dBm} - 20\log(\text{Distancia en Km}) + 38,7$$

### **Ecuación 7**

Para el nivel de potencia en referencia al campo eléctrico expresado en dBm se aplica la siguiente ecuación:

$$P \text{ (dBm)} = E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} + G_{rx}(\text{dBi}) - 20\log(\text{frecuencia en Mhz}) - 77,2$$

### Ecuación 8

**Ganancia del sistema:** en su forma más sencilla, la ganancia del sistema es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor, y la potencia de entrada mínima requerida por un receptor. La ganancia del sistema debe ser mayor o igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas incurridas por una señal al propagarse de un transmisor a un receptor. En esencia, representa la pérdida neta de un sistema de radio. La ganancia del sistema se usa para calcular la confiabilidad de un sistema para determinados parámetros del mismo. La ecuación de la ganancia del sistema es:

– ganancias

### Ecuación 9

Donde:

$G_s$  = ganancia del sistema (dB)

$P_t$  = potencia de salida del transmisor (dBm)

$C_{mín}$  = potencia mínima de entrada al receptor para determinado objetivo de calidad (dBm)

La descripción matemática de la ganancia del sistema es

$$G_s = P_t - \quad \quad \quad - G_t - G_r$$

### Ecuación 10

Ganancias:

$G_t$  = ganancia de la antena de transmisión (dB) en relación con un radiador isotrópico

$G_r$  = ganancia de la antena de recepción (dB) en relación con un radiador isotrópico

Pérdidas:

$L_p$  = pérdida en trayectoria por espacio libre entre las antenas (dB)

$LLB_{Tx}$  = pérdida de línea en el equipo transmisor (dB)

$LLB_{Tx}$  = pérdida de línea en el equipo receptor total (dB)

Fm = margen de desvanecimiento para determinado objetivo de confiabilidad

**Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE):** en sistemas de Radiocomunicación, la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena. La PIRE tiene en cuenta las pérdidas de la línea de transmisión y en los conectores e incluye la ganancia de la antena. La PIRE se expresa habitualmente en decibelios respecto a una potencia de referencia emitida por una potencia de señal equivalente. La PIRE permite comparar emisores diferentes independientemente de su tipo, tamaño o forma. Conociendo la PIRE y la ganancia de la antena real es posible calcular la potencia real y los valores del campo electromagnético.

$$\text{PIRE} = 10\log(\text{Ptx}) + \text{Gtx} - \text{LLB}$$

#### **Ecuación 11**

**Potencia en el receptor (Prx):** esta es la cantidad de potencia que puede ser absorbida por el receptor luego de haber sido transmitida una onda electromagnética asumiendo las pérdidas y ganancias del sistema respectivo. Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Prx} = \text{Ptx} + \text{Gtx} + \text{Grx} - \text{LLBTx} + \text{LLBRx} - \text{Lp} - \text{Fm}.$$

#### **Ecuación 11**

Donde:

Prx = Potencia de recepción

Ptx = Potencia de transmisión

Gtx = Ganancia de transmisión

LLBBTx = Es la pérdida en la línea de transmisión

LLBBRx = Es la pérdida en la línea de recepción

Lp = Pérdida en el espacio libre

Fm = Margen de desvanecimiento

### **2.3. Definición de Términos Básicos**

**VPN:** es una tecnología de red de computadoras que permite una extensión segura de la red de área local (LAN) sobre una red pública o no controlada como Internet. Permite que la computadora en la red envíe y reciba datos sobre redes compartidas o públicas como si fuera una red privada con toda la funcionalidad, seguridad y políticas de gestión de una red privada.

**IPsec:** (abreviatura de *Internet Protocolsecurity*) es un conjunto de protocolos cuya función es asegurar las comunicaciones sobre el Protocolo de Internet (IP) autenticando y/o cifrando cada paquete IP en un flujo de datos.

**ISP:** El proveedor de servicios de Internet (ISP, por la sigla en inglés de *Internet serviceprovider*) es la empresa que brinda conexión a Internet a sus clientes.

**PSK:** la modulación por desplazamiento de fase o PSK (*PhaseShiftKeying*) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número determinado de valores discretos.

**QAM:** la modulación de amplitud en cuadratura o QAM (acrónimo de *QuadratureAmplitudeModulation*, por sus siglas en inglés) es una técnica que transporta dos señales independientes, mediante la modulación de una señal portadora, tanto en amplitud como en fase.

**IEEE:** Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica conocido por sus siglas IEEE, leído i-triple-e en Latinoamérica o i-e-cubo en España.

**BTS:** estas siglas significan estación base (en inglés: *BaseTransceiverStation* (BTS)).

**Ancho de banda:** una longitud, medida en Hz, es en donde se concentra la mayor parte de la potencia de la señal emitida.

**SISO:** es el acrónimo en inglés de (*single input, single output*) lo que se traduce en español como una sola entrada una sola salida, un sistema de control en donde un radio utiliza un solo canal para transmitir y de igual forma para recibir.

**MIMO:** es el acrónimo en inglés de *Multiple-input multiple-output* que se traduce en múltiple entrada múltiple salida. MIMO aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa

de error. En breves palabras MIMO aumenta significativamente la tasa de transferencia de información utilizando diferentes canales en la transmisión de datos aumentando la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial.

### CAPÍTULO III

#### MARCO METODOLÓGICO

##### 3.1 Nivel de investigación

Roberto Hernández Sampieri, en su libro Metodología de la Investigación define una investigación de nivel explicativo de la siguiente manera: “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.”(Pág 121) (Ver figura 6)

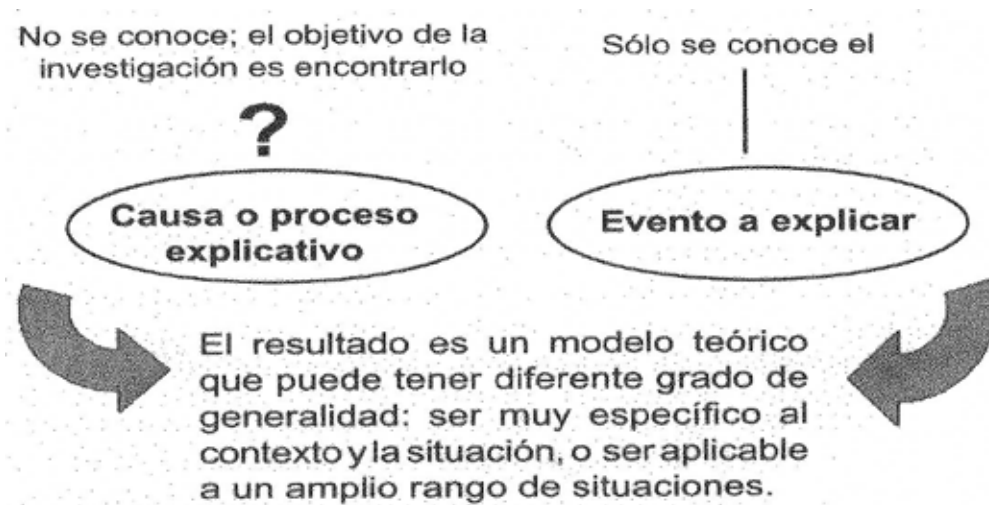


Figura 6: Esquema para una Investigación Explicativa.

Fuente: <http://aprenderlyx.com/tipos-de-metodologia-de-investigacion/>

Basándose en esta definición, podemos decir que el presente trabajo es de tipo explicativo, puesto que no busca sólo describir el comportamiento actual de la interconexión entre Valencia y Tinaquillo, sino que también busca explicar por qué es así actualmente y de qué manera se puede mejorar.

### **3.2 Tipo de investigación**

El presente trabajo de grado, tiene como objetivo presentar un diseño de interconexión mediante un enlace de microondas utilizando una banda licenciada entre las ciudades de Valencia y Tinaquillo, de manera que cualquier organización, empresa o persona particular que desee llevar a cabo dicha interconexión, pueda usar el texto como guía, volviéndolo así un proyecto factible, apoyado por una investigación analítica.

Para conocer los parámetros de un proyecto factible se puede citar al Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales de la UPEL (2005), según el cual un Proyecto Factible:

Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. (p.16)

Es por ello que todo proyecto factible, se caracteriza por desarrollar las siguientes etapas: investigación y diagnóstico inicial, planteamiento y fundamentación teórica de la propuesta, diseño general y detallado de la propuesta, elaboración de estudios de factibilidad y por último, conclusiones sobre la viabilidad de la ejecución del proyecto.

### **3.3 Diseño de la Investigación**

El diseño a utilizar en esta investigación será analítico, a pesar de que se basa sobre hechos reales es necesario llevar a cabo una estrategia que permita analizar la situación, evaluando todos los posibles escenarios y aprovechando las herramientas tecnológicas más avanzadas, simulando así un enlace entre Valencia y Tinaquillo.

Segun Arias (2006), define el diseño de la investigación como “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado” (p.30).

Respecto a la investigación cuantitativa, Ramón Ruiz Limón expresa: “La investigación cuantitativa, conocida también como metodología cuantitativa, es un

modelo de investigación basado en el paradigma positivista, cuyo propósito es hallar leyes generales que expliquen la naturaleza de su objeto de estudio a partir de la observación, la comprobación y la experiencia. Esto es, a partir del análisis de resultados experimentales que arrojan representaciones numéricas o estadísticas verificables.” (Pág. 128).

### **3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.4.1 Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos, son definidas por Tamayo (1999), como la expresión operativa del diseño de investigación y que especifica concretamente como se hizo la investigación (p. 126). Así mismo, Bizquera, R. (1990), define las técnicas como aquellos medios técnicos que se utiliza para registrar observaciones y facilitar el tratamiento de las mismas” (p. 28), siendo para este caso estudio la técnica de observación, investigación para el posterior diseño de una mejor interconexión entre Valencia y Tinaquillo.

#### **3.4.2 Instrumentos de Recolección de Datos**

En cuanto a los instrumentos, Arias (2006), establece que “los instrumentos de recolección de datos pueden definirse como “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (p.68)”. se hará empleo de diferentes materiales para la elaboración de esta investigación, siendo estos descritos a continuación: Cuaderno de anotaciones, material de papelería, calculadora científica, computadora tipo laptop, teléfono inteligente, Software Radio Mobile, Software Sirenet (Actual Xirio), Software LinkPlanet, Software Google Earth, Software Excel. Los cuales servirán como instrumentos de anotación y registro hasta una vez realizados los cálculos, luego de los cuales, dichos software también habrán sido utilizados para el arrojamiento de resultados.

### **3.5 Análisis de datos**

Según Arias (2006), “en este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan” (p.99).

El análisis de los datos comenzará por la organización de la información proporcionada por la empresa GMTechnologies, respecto a las coordenadas de los puntos estratégicos disponibles para la interconexión que se requiere de manera que se pueda comenzar por obtener datos de una interconexión con un enlace de microondas utilizando una banda libre mediante la utilización de software especializado, y luego compararlos con los resultados utilizando una banda licenciada obteniendo así el que mejor se adapte a las necesidades de la persona natural o jurídica que necesite dicha conexión, de acuerdo al marco legal y técnico establecido en la materia.

### **3.6 Fases de la investigación**

#### **Fase I: Diagnóstico de la situación actual de la conexión entre Valencia y Tinaquillo.**

En esta fase se realizará el análisis de los equipos que se encuentran prestando este servicio así como el lugar donde se encuentran y las conexiones de cada uno de ellos para de esta manera tener un conocimiento pleno de su estado y una visión clara del problema a solucionar.

#### **Fase II: Estudio de las posibles soluciones que satisfagan las necesidades y requerimientos para interconectar Valencia y Tinaquillo.**

En esta fase se procede a estudiar los diferentes métodos y sistemas posibles que cuenten con las características necesarias para solucionar el problema diagnosticado en la fase anterior.

#### **Fase III: Diseño de un enlace de microondas dedicado con las mejores prestaciones posibles para interconectar Valencia y Tinaquillo.**

Seguidamente de realizarse el estudio de las posibles soluciones se procederá a diseñar un enlace microondas con las características ideales que permitan interconectar las sedes con la más alta calidad y confiabilidad de tal manera que cumpla con los objetivos que se han trazado.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Fase I: Diagnóstico de la situación actual de la conexión entre Valencia y Tinaquillo.**

Luego de varias entrevistas con miembros del departamento de Networking de GMTechnologies, empresa perteneciente al Grupo Merino -Grupo cuyas sedes se encuentran distribuidas entre las ciudades de Valencia y Tinaquillo, relevantes para la investigación a realizar-, quienes tienen control y acceso a las redes del Grupo Merino y son encargados de su mantenimiento y buen funcionamiento; se obtuvo información de la topología de red necesaria, los equipos empleados en la misma, su localidad así como de las fallas presentadas.

Para realizar la interconexión entre las sedes se establecen tres enlaces, involucrando puntos geográficos estratégicos con la altura necesaria para lograr obtener una línea de vista clara entre las ciudades. Desde la Torre A1 en Valencia (o desde la distribuidora GSC en la Zona Industrial de Valencia) se hace un enlace hasta el cerro Copey, este a su vez se enlaza con cerro el Amparo, seguidamente se realiza un enlace desde cerro el Amparo hasta la torre de comunicaciones en Baruta, Tinaquillo.

Sin embargo, estos enlaces se ven afectados por diferentes motivos, lo cual evita que puedan trabajar en óptimas condiciones. En el caso del enlace más largo (Copey-El Amparo, 46.4 Km) el uso de equipos que trabajan con una ganancia inferior a la necesaria y con una banda de frecuencias que es utilizada normalmente para enlaces más cortos hace que, a pesar de lograr conexión, ésta no alcance velocidades que satisfagan las necesidades de una empresa de cualquier envergadura (además del hecho de que se pierde la conexión con facilidad ante cualquier perturbación en el enlace).

Para el caso de los enlaces más cortos (Distancias inferiores a los 7 Km), que son todos los demás, a pesar de que las condiciones deberían ser óptimas con los equipos utilizados en cuanto a ganancia y frecuencia utilizada para esas distancias, el

hecho de que estén trabajando en una banda libre hace que los enlaces presenten mucha interferencia, debido a que, a pesar de estar penalizado en la ley venezolana, la mayoría (por no decir que todas) las empresas de la zona utilizan la amplificación de potencia de sus equipos al máximo sin importarles lo estipulado en la ley y en la concesión dada por CONATEL a cada una de ellas, esto motivado principalmente la inexistencia de un ente con autoridad que haga cumplir las normas y aplique las penalizaciones pertinentes.

A continuación las coordenadas de cada uno de los puntos de interés, así como una vista aérea tomada con el software Radio Mobile, el cual utiliza varias bibliotecas, incluidas las de Google Maps, utilizadas para hacer la captura. **(Tabla 1, Figura 7)**

Localidad	Coordenadas
Cerro Copey	Latitud: 10° 11' 56,8'' N Longitud: 067° 59' 18,2'' O
Cerro El Amparo	Latitud: 09° 52' 31,4'' N Longitud 068° 15' 22,2'' O
Torre A1	Latitud: 10° 13' 06,2'' N Longitud: 068° 00' 48,1'' O
Distribuidora GSC	Latitud: 10° 11' 02,0'' N Longitud: 067° 57' 09,0'' O
Baruta	Latitud: 09° 55' 23,7'' N Longitud: 068° 17' 47,6'' O

**Tabla 1: Coordenadas de las localidades relevantes del Grupo Merino.**

Fuente: El autor.

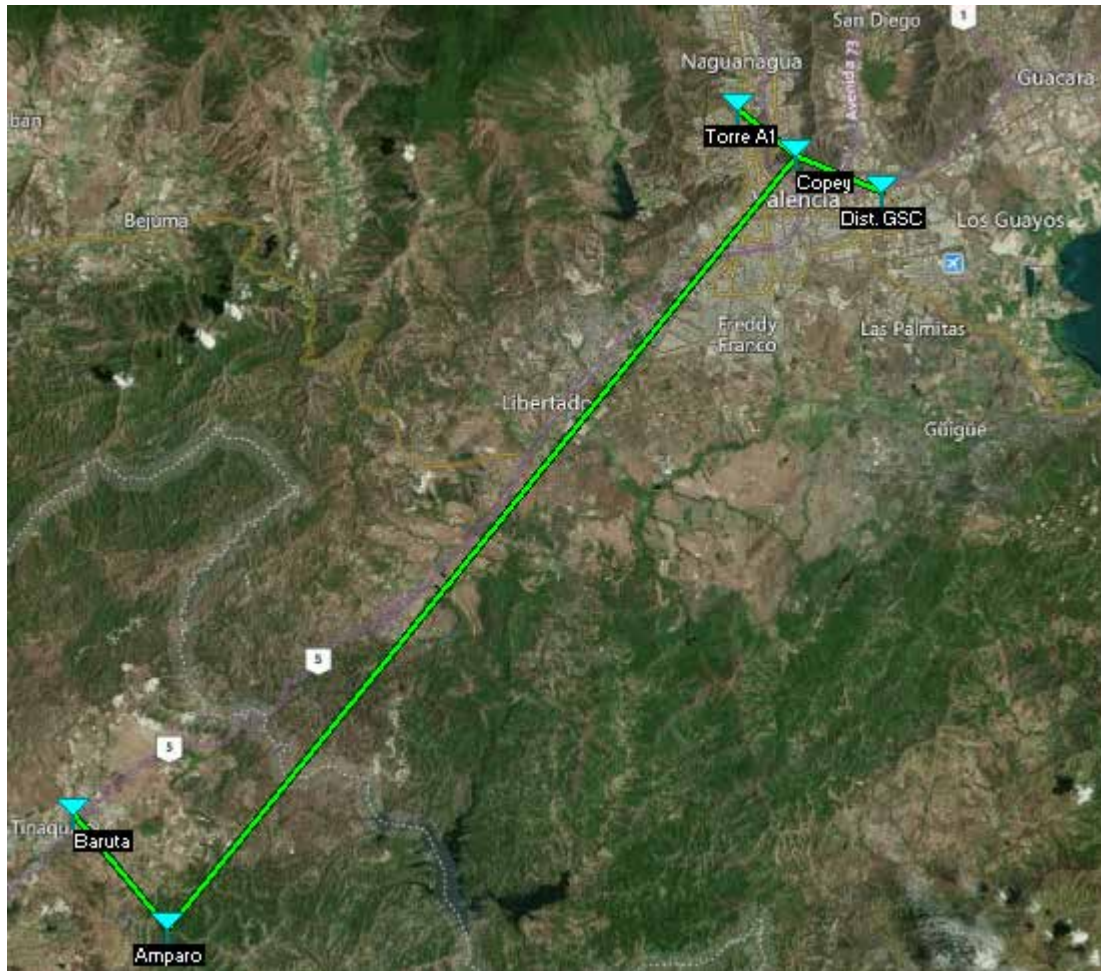


Figura 7: Red Baruta – Torre A1 / Baruta – Distribuidora GCS.

Fuente: El autor.

Todas las conexiones mencionadas se logran a través de enlaces de radio empleando equipos Ubiquiti PowerBeam 5AC 400 en el caso de los enlaces cortos y Ubiquiti PowerBeam 5AC 620 para en el enlace entre Copey y El Amparo. (Ver anexos A y B para las especificaciones técnicas)

## **4.2 Fase II: Estudio de las posibles soluciones que satisfagan las necesidades y requerimientos para interconectar Valencia y Tinaquillo.**

Para interconectar dos puntos entre las ciudades de Valencia y Tinaquillo existen varias opciones posibles:

### **4.2.1 Fibra óptica**

La fibra óptica de hoy constituye uno de los medios de transmisión más eficaces y de los que brindan mayores velocidades, esto según el tipo de fibra óptica que se use, puede cubrir áreas muy extensas manteniendo un gran ancho de banda y bajas pérdidas lo que te asegura una transmisión de datos más robusta. Son el medio de transmisión por cable más avanzado, al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, y también se utilizan para redes locales donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

**Ventajas:** su principal ventaja es el ancho de banda de paso que permite flujos muy elevados en orden de los GHz, con un volumen de tamaño bajo y gran flexibilidad y ligereza, además tiene inmunidad total de las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica un calidad de transmisión muy estable y no genera interferencia con otros sistemas de transmisión. Es insensible a señales parasitas, lo que se traduce en que la fibra óptica no es afectada por cables de energía eléctrica y esto permite la coexistencia de ambos por los mismos conductos. Proporciona comunicaciones hasta 70 Km antes de que sea necesario regenerar la señal, ya que su atenuación es muy pequeña independientemente de la frecuencia, llegando a extenderse a 150 Km utilizando amplificadores láser.

**Desventajas:** una de las principales desventajas de la fibra óptica es el alto costo de su implementación, además son muy frágiles y los empalmes son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de ruptura del cable. La fibra óptica convencional no puede transmitir potencias elevadas ni transmitir electricidad esto limita su aplicación donde el terminal de recepción debe ser energizado desde una línea eléctrica. Es afectada por el agua ya que esta corroe la

superficie del vidrio y resulta ser el mecanismo más importante para el envejecimiento de la fibra óptica.

#### **4.2.2 Enlaces Satelitales**

Son uno de los primeros sistemas de comunicación entre puntos distantes utilizados. Por muchos años fue una de las soluciones más atractivas, por su gran cobertura y fácil instalación. Esta tecnología incluye la puesta en órbita de un satélite artificial el cual sirve de puente visual entre la estación transmisora y la receptora. Para mantener lo más fijo posible el satélite con respecto a la tierra, éste se ubica sobre una órbita geoestacionaria llamada “Cinturón de clark”. Esta orbita está a una altura aproximada de 36000 Km de altura sobre la superficie de la tierra. Las comunicaciones satelitales utilizan como portadora, señales de microondas (muy pequeñas), para transmitir los datos hasta el satélite y desde éste hasta la tierra, el enlace de subida se llama “Up Link” y el de baja “Down link”.

**Ventajas:** las transmisiones en enlaces satelitales son realizadas a altas velocidades en Giga Hertz lo que te brinda un alto rendimiento en la transmisión de datos, además cuenta con una fácil instalación. El uso de este medio te permite transmitir datos a cualquier lugar del planeta, rompen las distancias y el tiempo.

**Desventajas:** el ancho de banda es muy costoso, este sistema involucra satélites que prestan servicio en el espacio, con un tiempo de vida entre 10 a 15 años. Una vez superado deben ser sustituidos por otros satélites que cubran las mismas funciones. Esto produce inversiones constantes de alto costo no fáciles de asumir. Lo que conlleva a analizar muy bien este factor antes de tomar una decisión por esta tecnología.

#### **4.2.3 Metro Ethernet**

Es una arquitectura de red de banda ancha que está destinada para redes metropolitanas, de alta velocidad. Estas redes soportan una amplia gama de servicios, aplicaciones, incluyendo soporte a tráfico en tiempo real, como puede ser telefonía IP y video IP, tráfico que resulta especialmente sensible a retardo. Es una tecnología empleada para conectar a varias LANs separadas por grandes distancias geográficas.

**Ventajas:** este sistema permite ofrecer un ancho de banda alto a bajo costo garantizando una red privada con conexión sencilla, con velocidades de transmisión de hasta 10 Gbps y bajos costos en la implementación de la infraestructura.

**Desventajas:** actualmente la empresa que brinda servicio Metro Ethernet no tiene la capacidad de brindar un servicio de alta calidad y fiabilidad, además su equipo de mantenimiento y de respuesta a fallas es muy deficiente. No es una red muy segura debido a que se puede dar accesos entre usuarios ya que emplean el mismo medio.

#### **4.2.4 Enlaces de microondas utilizando bandas licenciadas**

Es un medio de transmisión de datos o voz que emiten señales usando como medio la atmosfera terrestre, no necesita de un medio físico para transmitir, provee conectividad entre dos sitios con línea de vista en frecuencias desde 3.6 GHz hasta los 86GHz, según la canalización provista por CONATEL, para una mejor emisión y recepción estos se encuentran en la cima de torres, pudiendo transmitir información a grandes velocidades según los equipos que se empleen, su implementación es de bajo costo y en corto tiempo. Se utiliza comúnmente para transmitir información entre localidades que recorren largas distancias con la posibilidad de instalar repetidores y poder llegar a distancias remotas.

**Ventajas:** la principal características de estos equipos es el hecho de que su puesta en marcha requiere de un permiso de CONATEL que previamente a nuestro despliegue habrá comprobado que la adjudicación de dicha frecuencia no altera el rendimiento del resto de enlaces que pudieran existir en la zona. De esta manera podemos asegurar que nunca tendremos interferencias de terceros en nuestra red, asegurando los niveles de disponibilidad requeridos para cada enlace.

**Desventajas:** para poder transmitir información el emisor y receptor deben tener línea de vista directa, se debe tener acceso adecuado a las estaciones repetidoras, además se debe contar con equipos de alta potencia para transmitir información a largas distancias. Las adecuaciones correctas para estaciones de telecomunicaciones en algunos casos generan altos costos.

#### **4.2.5 Elección de la mejor alternativa para la interconexión entre sedes**

Para elegir la solución más productiva e idónea se procedió a realizar una evaluación de distintas variables tales como el rendimiento que brinda cada posible solución, el costo de la misma y el tiempo de ejecución y puesta en servicio. Se decidió proponer una interconexión mediante el uso de enlaces microondas utilizando bandas licenciadas, debido al bajo costo que implica y a la posibilidad de utilizar equipos de bajo costo con buen rendimiento y altas velocidades de transmisión, por otra parte entre ambas ciudades existe una distancia muy larga con grandes dificultades de terreno ya que existen montañas de por medio por lo que el uso de enlaces microondas soluciona esta limitante de manera más económica que al emplear otras soluciones.

### 4.3 Fase III: Diseñar un enlace de microondas dedicado con las mejores prestaciones posibles para interconectar Valencia y Tinaquillo.

Luego de una investigación sobre las posibles locaciones para los enlaces, se determinó que tanto Cerro Copey como Cerro El Amparo son los puntos estratégicos mejor posicionados debido que ambos poseen una línea de vista que abarca gran parte de las ciudades que se quieren interconectar, como se puede apreciar en las figuras 10 y 11.

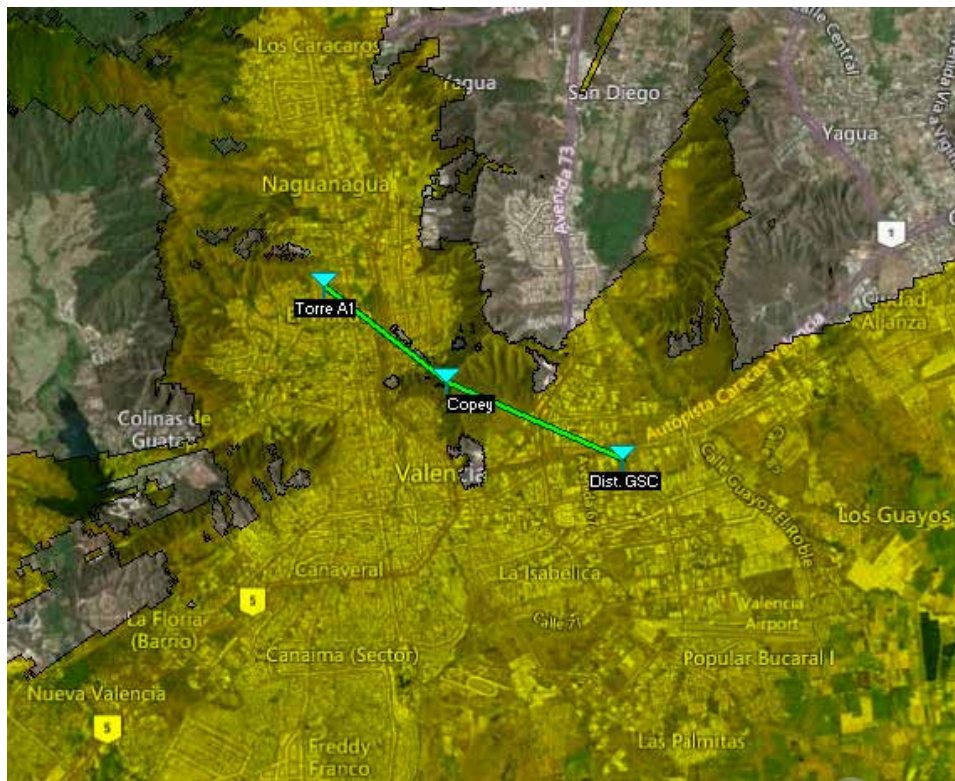


Figura 8: Área de cobertura de una antena ubicada en Cerro Copey.

Fuente: El Autor



Figura 9: Área de cobertura de una antena ubicada en Cerro El Amparo.

Fuente: El Autor

#### **4.3.1 Elección de la frecuencia a utilizar.**

Las bandas licenciadas abarcan un gran rango de frecuencias que van desde los 3.6 GHz hasta los 86 GHz según la canalización provista por CONATEL. Debido a que la recomendación es utilizar la banda de 11 GHz para enlaces inter urbanos, ésta resulta ser la mejor opción en este caso.

#### **4.3.2 Descripción de equipos**

##### **Radio AirFiber 11FX**

La marca Ubiquiti siempre se ha caracterizado por proporcionar equipos de muy buena calidad a precios muy accesibles. El Radio AirFiber 11FX es un radio perteneciente a la marca Ubiquiti que trabaja en la frecuencia 11 GHz. Este equipo

cuenta con la funcionalidad de usar canales en modo simple SISO (single input, single output, una sola entrada una sola salida) o enlazado MIMO (Multiple-input Multiple-output que se traduce en múltiple entrada múltiple salida), mediante el empleo de una sola antena parabólica para transmitir y recibir, esto se logra a través de dos duplexores con los que cuenta este equipo. El AF-11FX también presenta diferentes tamaños de ancho de canal para adaptarse a sus necesidades de implementación, y se puede configurar de manera independiente las frecuencias de transmisión y recepción. Cuenta con dos duplexores en dos rangos de frecuencia, este equipo abarca las frecuencias desde (10700 – 11700) MHz. Es un equipo diseñado para largas distancias y aplicaciones de redes a la intemperie, con un rendimiento máximo de 1.2 Gbps y rango máximo de 300 Km.



Figura 10: AirFiber AF – 11FX

Fuente: <https://www.ubnt.com/airfiber/airfiber-11fx/>

A continuación se muestra una lista de las características más importantes del equipo:

Puerto de dato 10/100/1000 Ethernet

Rendimiento 1.2 Gbps

Modos inalámbricos SISO/MIMO

Modulación 1024QAM

Procesador INVICTUS 2 IC

Máximo consumo de energía 36W

Duplexores

**Low-Band Duplexer**

LowChannel: 10.700 to 10.955 GHz

High Channel: 11.200 to 11.445 GHz

**High-Band Duplexer**

LowChannel: 10.940 to 11.200 GHz

High Channel: 11.440 to 11.700 GHz



Figura 11: Duplexores AF – 11FX

Fuente: [https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber\\_AF-11FX\\_DS.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_AF-11FX_DS.pdf)

Cabe destacar que para la aplicación de este proyecto se debe trabajar con duplexores en High Band, debido a que estos trabajan en las frecuencias que coinciden con las canalizadas por el ente regulador CONATEL, así mismo se debe adquirir un segundo duplexor High Band para poder contar con la funcionalidad de canales enlazados o transmisión Full Duplex ya que el equipo solo provee un duplexor. Para obtener información más detallada del equipo ver anexo C.

### Antena Air Fiber 11G35

Esta es una antena de Ubiquiti Networks diseñada para trabajar en la banda licenciada 11GHz. Ideal para el radio AF-11FX, ofrece SISO o 2x2 MIMO,

rendimiento de doble polaridad. Este modelo incorpora un diseño de reflector para una excelente directividad del haz, presenta un diseño mecánico robusto utilizando hardware de resistencia industrial para uso en aplicaciones al aire libre. Tiene un soporte incorporado para el radio AF-11FX por lo que no requiere herramientas especiales, además la antena cuenta un diseño a prueba de todo tipo de clima.



*Mounting the AF-11FX on the AF-11G35*

Figura 12: AF – 11G35

Fuente: [https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber\\_AF-11G35\\_DS.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_AF-11G35_DS.pdf)

Su rango de frecuencia se encuentra entre 10.3-11.7 GHz y posee una ganancia de 35 dBi lo que permite establecer enlaces de larga distancia con la mejor actuación.

Puede soportar vientos de hasta 200 km/h y tiene además 2.5° grados verticales y 2.5° grados horizontales en ancho de haz de señal.

A continuación se muestran las características principales de la antena, para más información ver el anexo D.

Antena parabólica

Dimensiones  $\varnothing$  811 x 460 mm ( $\varnothing$  31.9 x 18.1")

Peso 11.85 kg

Rango de frecuencia 10.3-11.7 GHz

Ganancia 35 dBi

Max. VSWR 2:1

Sobrevivencia del viento 200 km/h

#### **4.3.2 Descripción de los enlaces utilizando software Radio Mobile**

Para la creación de esta red privada es necesario el diseño de tres enlaces debido a la distancia entre las ciudades y por la dificultad del terreno. Se decidió utilizar las sedes del Grupo Merino como ejemplo de la red, para de esta manera poder comparar la mejoría en la red al usar bandas licenciadas. En sentido Valencia – Tinaquillo los enlaces quedan en el siguiente orden:

Torre centro A1 – Cerro Copey o Distribuidora GSC – Cerro Copey

Cerro Copey – Cerro el Amparo

Cerro el Amparo – Baruta

Seguidamente para la simulación y cálculo de los enlaces se hizo empleo del software Radio Mobile el cual brinda una serie de características y resultados muy importantes para el diseño de estos enlaces. Estos resultados son arrojados una vez se haya ingresado los datos pertinentes, para empezar se debe ingresar en propiedades de la red, es allí donde se ingresaran la mayoría de los datos necesarios, tales como la frecuencia mínima y máxima de trabajo en MHz, la polarización a utilizar y el clima de la zona geográfica. Así mismo se ingresa el tipo de topología que se desea trabajar, se escogen las unidades que formaran parte de esta red, para agregarlas se debe ingresar

en propiedades de las unidades e ingresar el nombre y las coordenadas del sitio. Luego de escoger los sitios en propiedades de la red se elige el rol del miembro de la red. Seguidamente para la simulación y cálculo de los enlaces se hizo empleo del software Radio Mobile el cual brinda una serie de características y resultados muy importantes para el diseño de estos enlaces. Estos resultados son arrojados una vez se haya ingresado los datos pertinentes, para empezar se debe ingresar en propiedades de la red, es allí donde se ingresaran la mayoría de los datos necesarios, tales como la frecuencia mínima y máxima de trabajo en MHz, la polarización a utilizar y el clima de la zona geográfica. Así mismo se ingresa el tipo de topología que se desea trabajar, se escogen las unidades que formaran parte de esta red, para agregarlas se debe ingresar en propiedades de las unidades e ingresar el nombre y las coordenadas del sitio. Luego de escoger los sitios en propiedades de la red se elige el rol del miembro de la red y el sistema a utilizar, en sistemas se ingresan los parámetros faltantes, la potencia del transmisor, el umbral de recepción, tipo de antena, ganancia, altura de la antena y la pérdida adicional del cable. De manera que al ingresar todos los datos descritos anteriormente y realizar el cálculo de enlace arroja los resultados y el perfil del enlace, tal como se muestra en la figura 14.

### **Torre centro A1 – Cerro Copey**

Debido a su posición geográfica este enlace resulta ser sencillo, con una distancia de 3,47 km, la torre A1 se encuentra ubicada cerca de la avenida Bolívar de la ciudad de Valencia, específicamente en la calle 149 de la urbanización Carabobo, una zona poblada con poco relieve, esta torre cuenta con una altura de al menos 40 metros y un mástil de 2 metros aproximadamente, altura suficiente para superar obstáculos que pueden encontrarse en la ciudad, así mismo el cerro Copey se encuentra a una altura de 763 metros sobre el nivel del mar, y con vista clara hacia el lugar de interés.

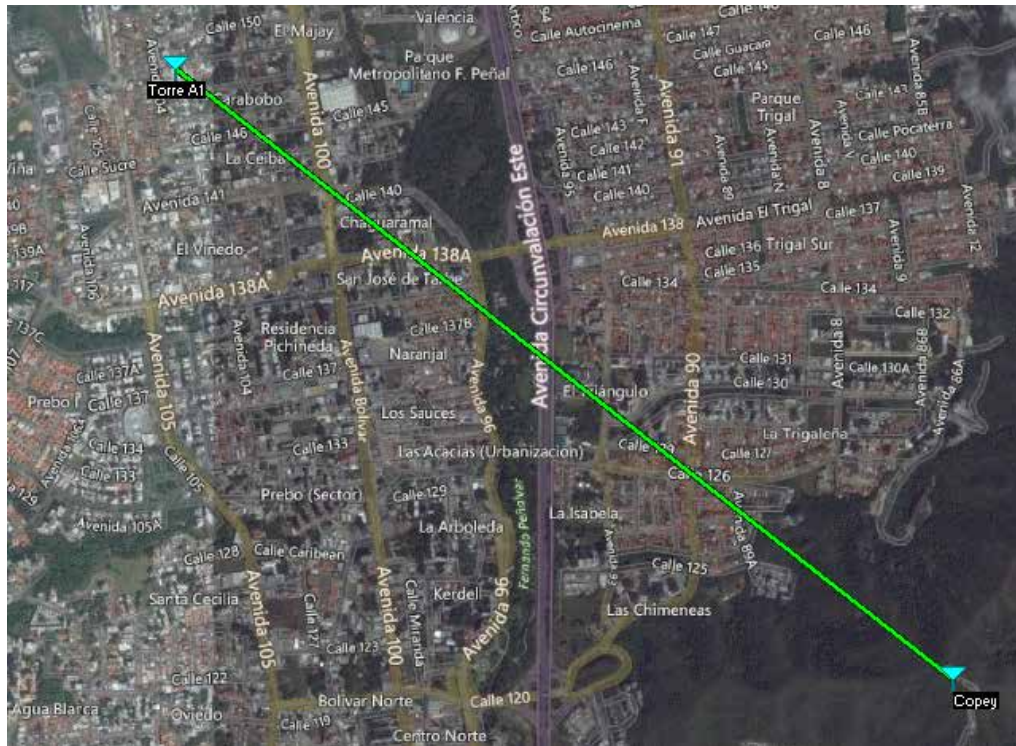


Figura 13: Enlace Torre A1-Copey

Fuente: El autor.

Para la interconexión se diseñó el enlace haciendo empleo del radio AF-11FX junto a una antena AF-G35, para cada una de las localidades, a pesar de no estar a una larga distancia, como ha sido explicado anteriormente, es necesario el uso de una banda licenciada para evitar la interferencia causada por todos los otros radioenlaces que utilizan la banda libre en el área es preciso mantener velocidades de transmisión altas en las estaciones posibles. Cabe mencionar que para poder realizar el cálculo del enlace entre estas localidades se procedió a ingresar los datos necesarios para el cálculo, siguiendo el procedimiento detallado en la sección anterior. Datos ingresados:

Propiedades de la unidad (coordenadas de ambas localidades)

Frecuencia mínima: 10700MHz

Frecuencia máxima: 11700MHz

Potencia del transmisor: 30 dBm

Umbral de recepción: -69dBm

Ganancia de la antena: 35 dBi

Altura de la antena: Copey 20 m, Torre A1 40 m

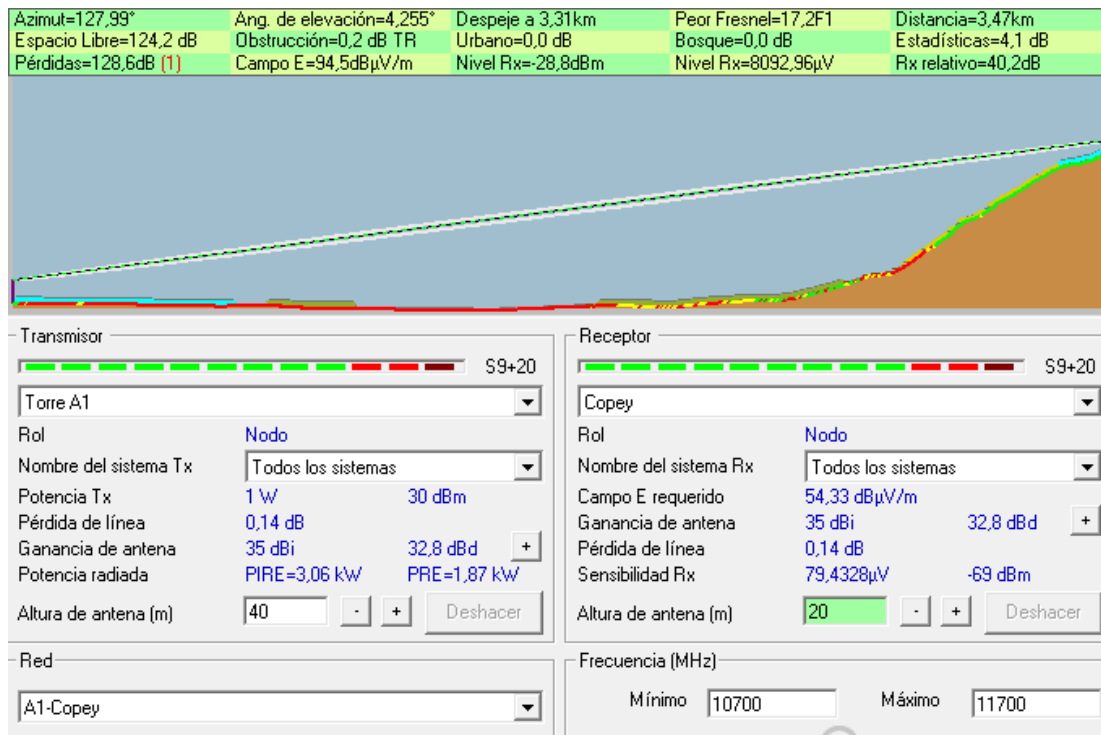


Figura 14: Perfil Torre A1-Copey

Fuente: El autor.

La distancia entre Torre A1 y Copey es 3,5 km (2,2 miles)  
Azimut norte verdadero = 127,99°, Azimut Norte Magnético = 139,61°, Angulo de elevación = 4,2546°  
Variación de altitud de 299,3 m  
El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 17,2F1 a 3,3km  
La frecuencia promedio es 11200,000 MHz  
Espacio Libre = 124,2 dB, Obstrucción = 0,2 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 4,1 dB  
La pérdida de propagación total es 128,6 dB  
Ganancia del sistema de Torre A1 a Copey es de 168,7 dB ( AF-11G35-S45, ant a 128,0 °\*4,25° ganancia = 35,0 dBi )  
Ganancia del sistema de Copey a Torre A1 es de 168,7 dB ( AF-11G35-S45, ant a 308,0 °\*4,29° ganancia = 35,0 dBi )  
Peor recepción es 40,2 dB sobre el señal requerida a encontrar  
99,000% de tiempo, 50,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones

Figura 15: Resultados Torre A1-Copey

Fuente: El autor.

A través de la visualización de la gráfica arrojada por Radio Mobile (Figura 15) podemos observar en los resultados un margen dinámico de 40,2 dB el cual indica una excelente recepción respecto al umbral considerado.

### **Distribuidora GSC – Cerro Copey**

Al igual que el enlace anterior, es un enlace de corta distancia (4,27km). La distribuidora está ubicada de la Zona Industrial de Valencia en la urbanización de La Quizanda.

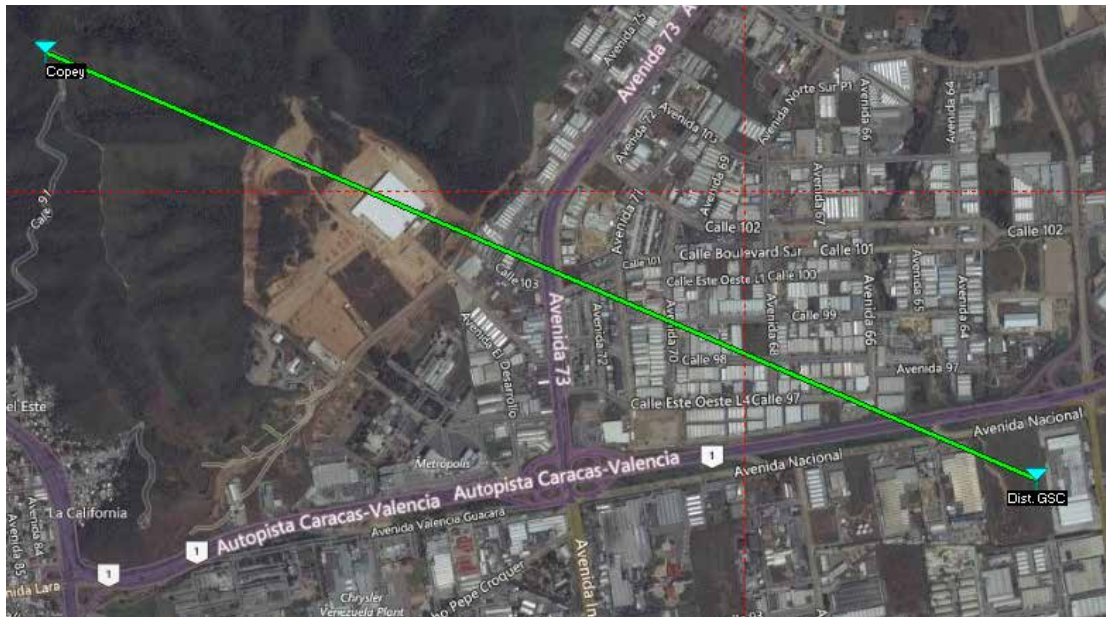


Figura 16: Enlace Distribuidora GSC-Copey

Fuente: El autor.

Al igual que en el enlace anterior, es necesaria la utilización de la banda licenciada para evitar la interferencia de la banda libre. Del mismo modo, se utilizan el radio AF-11FX junto a una antena AF-G35.

Propiedades de la unidad (coordenadas de ambas localidades)

Frecuencia mínima: 10700MHz

Frecuencia máxima: 11700MHz

Potencia del transmisor: 30 dBm

Umbral de recepción: -69dBm

Ganancia de la antena: 35 dBi

Altura de la antena: Copey 21 m, Distribuidora 20 m

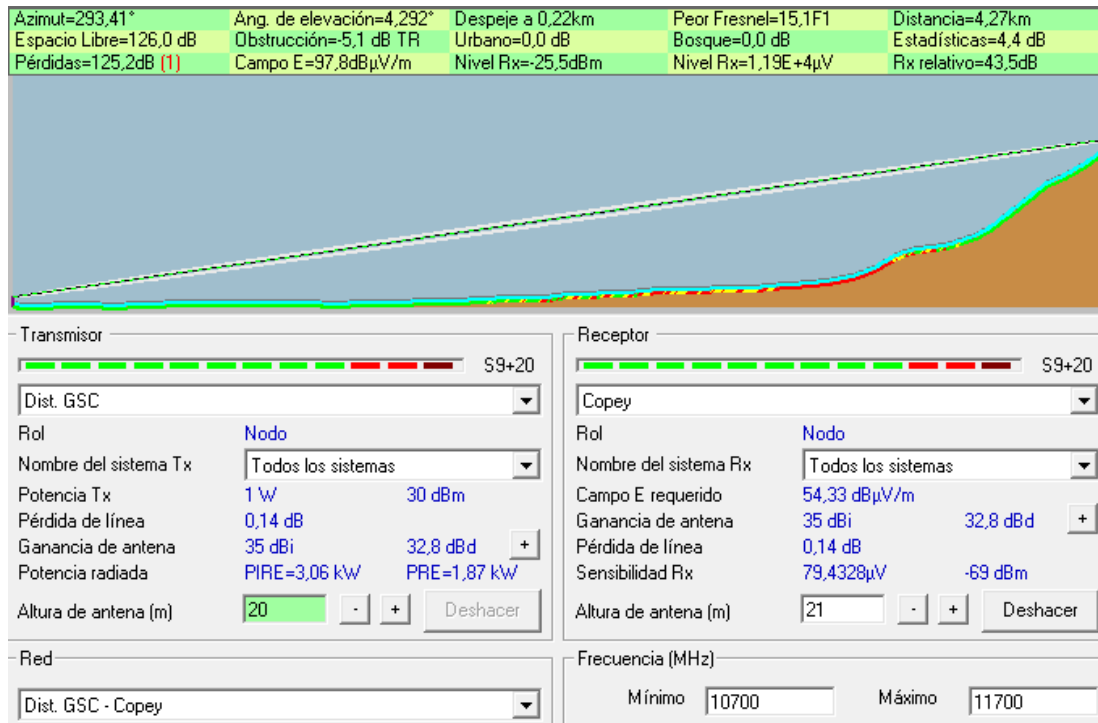


Figura 17: Perfil Distribuidora GSC-Copey

Fuente: El autor.

La distancia entre Dist. GSC y Copey es 4,3 km (2,7 miles)  
Azimut norte verdadero = 293,41°, Azimut Norte Magnético = 305,06°, Angulo de elevación = 4,2915°  
Variación de altitud de 335,0 m  
El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 15,1F1 a 0,2km  
La frecuencia promedio es 11200,000 MHz  
Espacio Libre = 126,0 dB, Obstrucción = -5,1 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 4,4 dB  
La pérdida de propagación total es 125,2 dB  
Ganancia del sistema de Dist. GSC a Copey es de 168,7 dB (AF-11G35-S45.ant a 293,4 °4,29° ganancia = 35,0 dBi )  
Ganancia del sistema de Copey a Dist. GSC es de 168,7 dB (AF-11G35-S45.ant a 113,4 °-4,33° ganancia = 35,0 dBi )  
Peor recepción es 43,5 dB sobre el señal requerida a encontrar  
99,000% de tiempo, 50,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones

Figura 18: Resultados Torre A1-Copey

Fuente: El autor.

A través de la visualización de la gráfica arrojada por Radio Mobile (Figura 18) podemos observar en los resultados un margen dinámico de 35,7 dB el cual indica una buena recepción respecto al umbral considerado.

### **Cerro Copey – Cerro el Amparo**

Este enlace representa la conexión de más larga distancia propuesto en el diseño con una distancia de 46,40 km, ambos puntos de transmisión se encuentran ubicados en zonas geográficas montañosas con un acceso de cierto nivel de dificultad. Para poder llegar a la ubicación de cerro el amparo es necesario el transporte vehicular rustico, sin embargo su ubicación y altura brindan grandes beneficios.

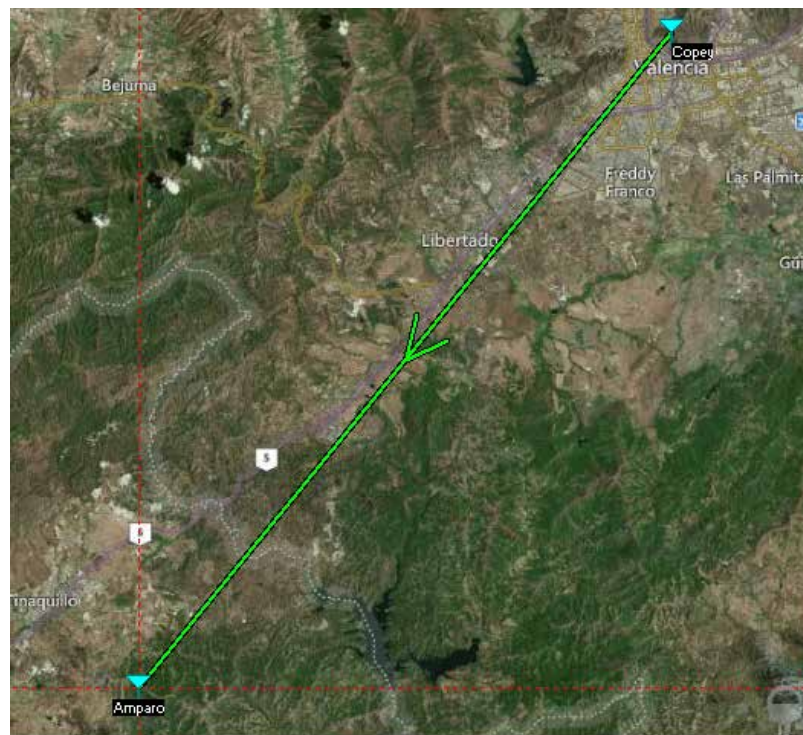


Figura 19: Enlace Copey-El Amparo

Fuente: El autor.

A pesar de ser el enlace de más grande distancia cuenta con un diseño que incluye el mismo radio AF-11FX con antena Ubiquiti AF-G35, antena de gran calidad capaz de brindar la ganancia necesaria para alcanzar un nivel de recepción aceptable en el

enlace. De la misma forma que el cálculo del enlace anterior se realizaron los pasos para ingresar los datos correspondientes con la finalidad de conseguir la simulación del enlace su perfil y los resultados mediante el software Radio Mobile.

Propiedades de la unidad (coordenadas de ambas localidades)

Frecuencia mínima: 10700MHz

Frecuencia máxima: 11700MHz

Potencia del transmisor: 30 dBm

Umbral de recepción: -83dBm

Ganancia de la antena: 35 dBi

Altura de la antena: Copey 20 m, Amparo 20 m

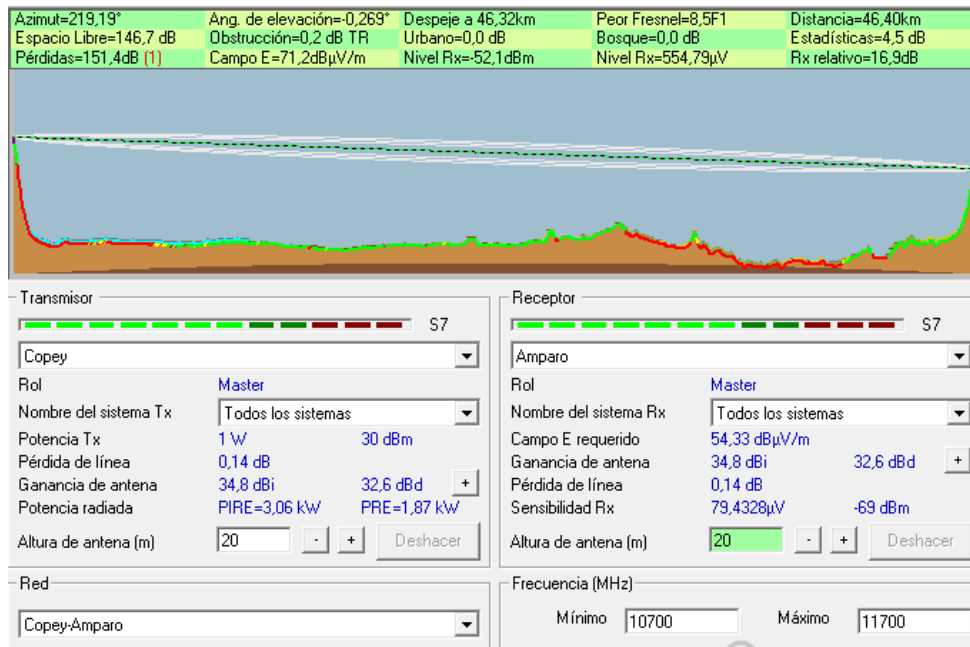


Figura 20: PerfilCopey-El Amparo

Fuente: El autor.

La distancia entre Copey y Amparo es 46,4 km (28,8 miles)  
 Azimut norte verdadero = 219,19°, Azimut Norte Magnético = 230,81°, Angulo de elevación = -0,2693°  
 Variación de altitud de 355,6 m  
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 8,5F1 a 46,3km  
 La frecuencia promedio es 11200,000 MHz  
 Espacio Libre = 146,7 dB, Obstrucción = 0,2 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 4,5 dB  
 La pérdida de propagación total es 151,4 dB  
 Ganancia del sistema de Copey a Amparo es de 168,7 dB ( AF-11G35-S45.ant a 219,2 °-0,27° ganancia = 35,0 dBi )  
 Ganancia del sistema de Amparo a Copey es de 168,7 dB ( AF-11G35-S45.ant a 39,1 °-0,15° ganancia = 35,0 dBi )  
 Peor recepción es 17,3 dB sobre el señal requerida a encontrar  
 99,000% de tiempo, 50,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones

Figura 21: ResultadosCopey-El Amparo

Fuente: El autor.

La peor recepción es de 17.3 dB, lo cual representa una excelente recepción.

### Cerro el Amparo – Baruta

Entre estas localidades existe una distancia de 6,96 km, lo que lo convierte en el segundo enlace más largo entre los perfiles propuestos, cuenta con una zona montañosa en los primeros 3 km debido a la pendiente del cerro el Amparo, Baruta se encuentra en una zona plana de 433 metros sobre el nivel del mar, ubicada en la zona industrial de Tinaquillo.

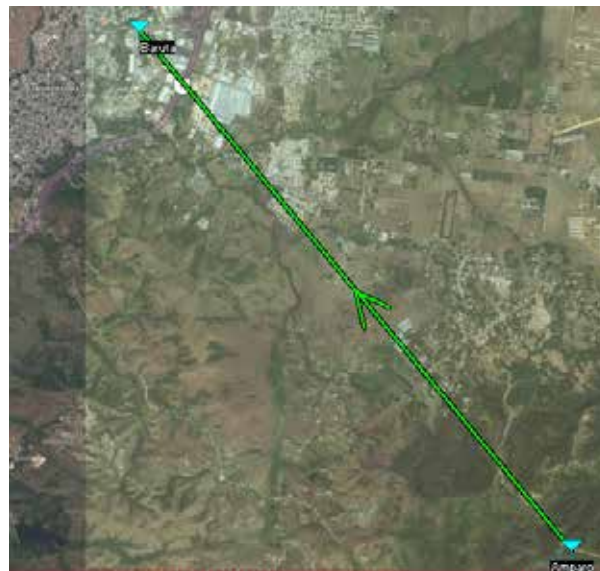


Figura 22: Enlace El Amparo-Baruta

Fuente: El autor.

Al igual que los perfiles anteriores su diseño esta propuesto con los mismos equipos Ubiquiti de alto rendimiento, AF-11FX y antenas de 35dBi AF-G35, la idea principal de utilizar los mismos equipos en cada enlace que conforma esta interconexión es la de mantener la fiabilidad y el alto rendimiento deseado en cada tramo que lo compone. A continuación los parámetros ingresados en Radio Mobile para el cálculo del perfil.

Propiedades de la unidad (coordenadas de ambas localidades)

Frecuencia mínima: 10700MHz

Frecuencia máxima: 11700MHz

Potencia del transmisor: 30 dBm

Umbral de recepción: -69dBm

Ganancia de la antena: 35 dBi

Altura de la antena: Amparo 20 m, Baruta 20 m.

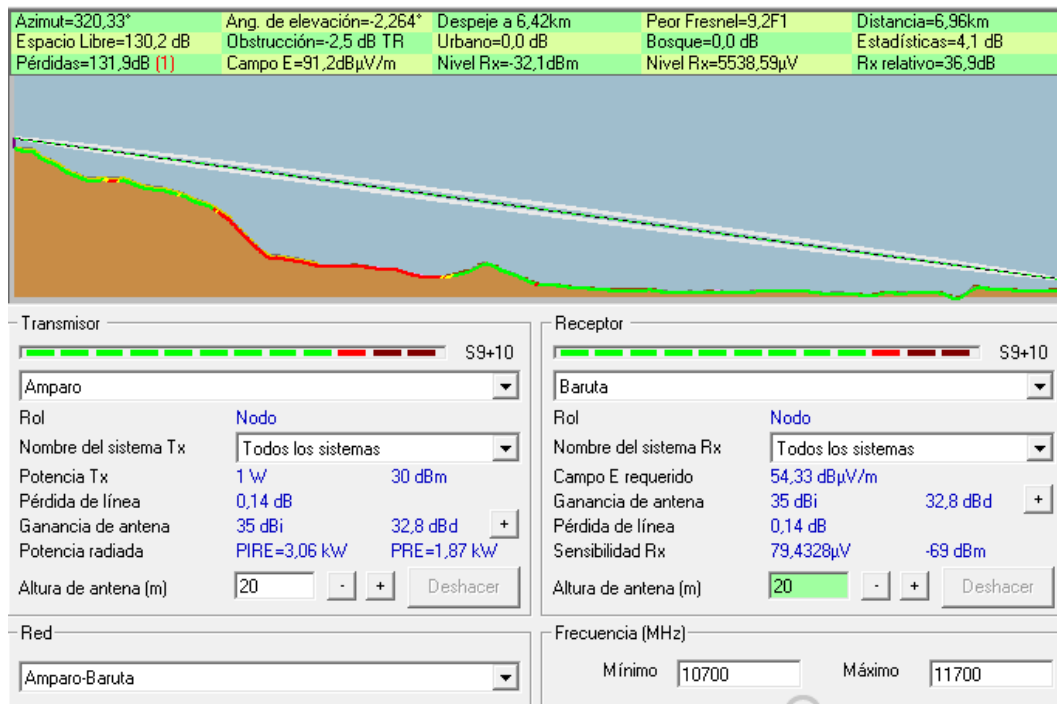


Figura 23: PerfilEl Amparo-Baruta

Fuente: El autor.

La distancia entre Amparo y Baruta es 7,0 km (4,3 miles)  
 Azimut norte verdadero = 320,33°, Azimut Norte Magnético = 331,78°, Angulo de elevación = -2,2638°  
 Variación de altitud de 286,6 m  
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 9,2F1 a 6,4km  
 La frecuencia promedio es 11200,000 MHz  
 Espacio Libre = 130,2 dB, Obstrucción = -2,5 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 4,1 dB  
 La pérdida de propagación total es 131,9 dB  
 Ganancia del sistema de Amparo a Baruta es de 168,7 dB ( AF-11G35-S45.ant a 320,3 °-2,26° ganancia = 35,0 dBi )  
 Ganancia del sistema de Baruta a Amparo es de 168,7 dB ( AF-11G35-S45.ant a 140,3 °-2,20° ganancia = 35,0 dBi )  
 Peor recepción es 36,9 dB sobre el señal requerida a encontrar  
 99,000% de tiempo, 50,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones

Figura 24: ResultadosEl Amparo-Baruta

Fuente: El autor.

A través de la visualización de la gráfica arrojada por Radio Mobile en cada enlace podemos observar que la peor condición de la zona de fresnel es igual a 17,2F1 por lo que no es necesario estudiar la zona fresnel para ninguno de los enlaces. En la figura 26 podemos observar que el margen es de 35,1 dB del umbral de recepción lo que garantiza un excelente nivel de recepción. Cabe destacar que para el sistema utilizado en el cálculo de cada uno de los enlaces se usó como tipo de antena la AF-11G35-S45, como se puede apreciar en las imágenes de los resultados arrojados por Radio Mobile. El patrón de radiación de esta antena (Figura 27) es muy similar al equipo AF-11FX por lo que se consideró conveniente el uso de la misma.

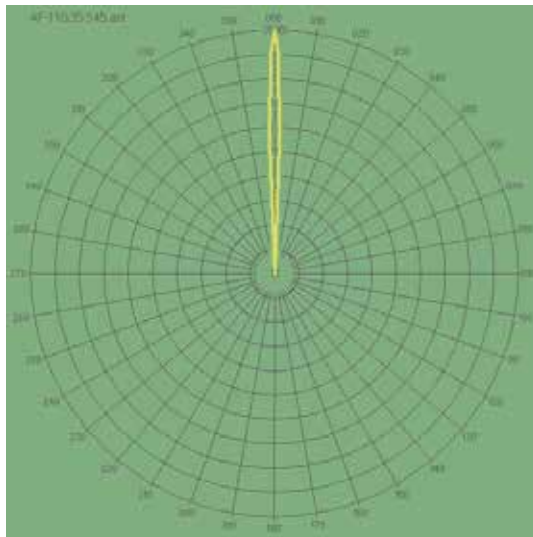


Figura 25: Patrón de radiación del AF-11G35-S45.

Fuente: El autor.

### 4.3.3 Cálculos Teóricos

Una vez realizado los cálculos de los enlaces mediante el uso del software Radio Mobile, se procede a realizar los cálculos teóricos correspondiente a cada enlace con la finalidad de corroborar, y realizar un cuadro comparativo con la información suministrada por el Radio Mobile de manera que se obtenga información precisa del diseño de los enlaces. A continuación se muestran los datos a considerar para los cálculos teóricos seguidamente de las ecuaciones a calcular.

<b>Frecuencia de operación del Radio</b>	(10.700 – 11.700) MHz
<b>Frecuencia promedio</b>	$\frac{10700+11700}{2} = 11200$ MHz
<b>Potencia de transmisión</b>	Ptx = 30 dBm = 1Watt
<b>Sensibilidad del receptor</b>	-69 dBm
<b>Ganancias de las antenas</b>	Gtx = Grx = 35 dBi

Tabla 2: Características técnicas de los equipos

Fuente: [https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber\\_AF-11FX\\_DS.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_AF-11FX_DS.pdf)

### Perdida de línea

Aquí encontramos la pérdida que se genera entre el transmisor y la antena, en todos los enlaces la AF-11FX se conecta mediante dos cables RF modelo RP-SMA a la antena por lo que se realiza un solo cálculo:

$$LLB = \frac{0,2m \times 1,45 \text{ dB}}{2m} = 0.145 \text{ dB}$$

### Ecuación 12

Dentro de este cálculo está incorporado la pérdida por conectores, por lo que el cálculo representa la pérdida total en cada línea de transmisión.

### Potencia entregada a la antena

Esta potencia es la entregada por el transmisor menos las atenuaciones causadas por las líneas de transmisión. Su ecuación es:

$$PEA = 10\log (P_{tx}) - LLB$$

### **Ecuación 13**

$$PEA = 10\log (1w) - 0,145 \text{ dB} = -0.145 \text{ dBw}$$

$$PEA = 10^{\frac{0.145}{10}} = 0.96 \text{ w}$$

### **Potencia Efectiva Radiada (PER)**

Para un cálculo más sencillo se ingresa directamente el valor de la potencia del transmisor que alimenta a la antena (PEA) y se suma con la ganancia en potencia (Gtx) en la antena (**Ecuación 6**):

$$PER = PEA + G_{tx}dBd.$$

La ganancia de la antena se debe convertir a dBd:

$$dBd = dBi - 2,15.$$

$$dBd = 35 \text{ dBi} - 2,15 = 32,85 \text{ dBd}.$$

Sustituyendo los valores, queda:

$$PER = -0.145dBw + 32,85$$

$$PER = 32,70dBw$$

$$PER \text{ en Vatios} = 10^{\frac{32,7}{10}} = 1862,08 \text{ W}$$

$$PER \text{ en dBm} = 32,70dBw + 30 = 62,7 \text{ dBm}.$$

### **Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE)**

Se calculó a través de la siguiente ecuación (**Ecuación 11**):

$$PIRE = 10\log (P_{tx}) + G_{tx} - LLB.$$

$$PIRE = 10\log (1w) + 35 \text{ dBi} - 0.145 \text{ dB}$$

$$PIRE = 34.85 \text{ dB}$$

$$PIRE \text{ en Vatios} = 10^{\frac{34,8}{10}} = 3054,92 \text{ W}.$$

Debido a que son utilizados los mismos equipos en todos los enlaces, se realizó un solo cálculo de potencia entregada, potencia efectiva radiada y potencia isotrópica radiada efectiva, valido para cualquiera de los enlaces.

### Atenuación específica debida a la lluvia

Aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño a frecuencias superiores donde su importancia aumenta rápidamente. La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación **UIT-R 838**. La

mediante la ley exponencial:

$$= kR^\alpha$$

#### Ecuación 14

as constantes que dependen de la frecuencia y de la polarización de la onda electromagnética. Para obtener de la intensidad de lluvia  $R(\text{mm/h})$  se estudia el comportamiento estadístico de la lluvia. Para la predicción de la atenuación producida por la lluvia se necesita información sobre las estadísticas de la intensidad de precipitación. En la Recomendación **UIT-R PN.837** (ver anexo F) se proporcionan valores de  $R$  excedidos durante determinados porcentajes de tiempo y para distintas zonas hidrometeorológicas mundiales. Se puede observar en el mapa de zonas hidrometeorológicas (ver anexo F, figura 1). En el caso específico de este enlace corresponde a la zona mundial N.

Porcentaje de tiempo	R (mm/h)
(%)	Zona N
1,0	5
0,3	15
0,1	35
0,03	65
0,01	95

0,003	140
0,001	180
1,0	5

Tabla 3: Intensidad de la lluvia excedida (mm/h)

Fuente: Rec. UIT-R PN.837-1

De la tabla se deduce que para la zona N llueve más de 95 mm/h durante menos del 0,01% del tiempo. Por lo tanto, si queremos que nuestro sistema presente una disponibilidad del 99,99% (poco más de 52 minutos indisponibilidad en todo un año), será necesario realizar el diseño del mismo teniendo en cuenta una intensidad de lluvia  $R = 95$  mm/h en el instante de calcular las atenuaciones.

(horizontal y vertical) se pueden obtener de la recomendación **UIT-R 838**. Para obtener valores a frecuencias intermedias se recomienda aplicar interpolación, utilizando una

Frecuencia (GHz)	kH		kV	
11	0,01772	1,2140	0,01731	1,1617

Tabla 4: Coeficientes que dependen de la frecuencia para estimar la atenuación específica debida a la lluvia

Fuente: Rec. UIT-R P.838-3

De la tabla anterior se deduce que la atenuación es ligeramente superior para polarización horizontal que para vertical. Esto se debe simplemente a la forma que adquieren las gotas de lluvia por el rozamiento durante la caída. Utilizando polarización

este enlace será:

$$= kR^\alpha$$

$$= 0,01731 \times 95^{1,1617}$$

$$= 3,43 \text{ dB/km}$$

### **Enlace Torre A1 – Copey**

Distancia: 3.47 km

Frecuencia: 11.2 GHz

Debido a ser un enlace de corta distancia, los parámetros de margen de desvanecimiento no se toman en consideración ya que estos solo se consideran para enlaces de media a larga distancia.

### **Perdida en el espacio libre (Lp)**

$$(dB) = 92.4 + 20(G_z) + 20\log(km)$$

$$(dB) = 92.4 + 20(11.2) + 20\log(3.47)$$

$$(dB) = 124,18 \text{ dB}$$

El campo eléctrico se calcula con el fin de conocer el voltaje y la potencia que recibe el receptor una vez se transmite a través del enlace. Obteniendo:

$$- 20\log(\text{Distancia en Km}) + 38,7.$$

$$- 20\log(3,47) + 38,7.$$

E (

$$- 20\log(\text{frecuencia en MHz}) - 77,2.$$

$$P \text{ (dBm)} = 90,59 + 35 - 20\log(11200) - 77,2$$

$$P \text{ (dBm)} = -32,59 \text{ dBm}$$

### **Potencia en el receptor (Prx)**

$$Prx = Ptx + Gtx + Grx - LLBTx + LLBRx - Lp$$

$$\text{Dónde: } LLBTx = LLBRx = 0.145 \text{ dB}$$

$$Prx = 30 \text{ dBm} + 35 \text{ dBi} + 35 \text{ dBi} - 0,145 \text{ dB} - 0,145 \text{ dB} - 124,18 \text{ dB}$$

$$Prx = -24,47 \text{ dBm.}$$

### **Margen dinámico**

Este margen es la potencia en el receptor menos el umbral de recepción.

$$Dm = Prx - Cmin.$$

$$Dm = -24,06 - (-69 \text{ dBm}) = 44,94 \text{ dB}$$

$$D_m = 44,94 \text{ dB}$$

### **Ganancia del Sistema**

La descripción matemática de la ganancia del sistema es

$$G_s = P_t - C_{\text{mín}}$$

– ganancias

$$G_s = P_{tx} - C_{\text{min}} - L_p + LL_{BTx} + LL_{BRx} - G_t - G_r$$

$$G_s = 30 \text{ dBm} - (-69 \text{ dBm}) > 124,18 \text{ dB} + 0,145 \text{ dB} + 0,145 \text{ dB} - 35 \text{ dB} - 35 \text{ dB}$$

$$G_s = 99 \text{ dBm} > 54,47 \text{ dBm}$$

### **Cálculo de las pérdidas por lluvia**

La Recomendación **UIT-R P.530** establece el procedimiento para calcular las pérdidas producidas por la lluvia a largo plazo. Esta pérdida A(dB) se calcula como

$$A = L$$

#### **Ecuación 15**

Donde

tasa de precipitación (superada el 0,01% del tiempo) de interés, y  $L = 3.47 \text{ km}$ , es la longitud del trayecto:

$$A = 3,43 \text{ dB/km} * 3.47 \text{ km}$$

$$A = 11,90 \text{ dB.}$$

Este resultado evidencia que el enlace podrá funcionar de forma adecuada sin reducción en su rendimiento, bajo las condiciones de atenuación por lluvia consideradas en el cálculo anterior, manteniendo un margen dinámico de 33,04 dB.

### **Enlace Distribuidora GSC – Copey**

Distancia: 4.27 km

Frecuencia: 11.2 GHz

Debido a ser un enlace de corta distancia, los parámetros de margen de desvanecimiento no se toman en consideración ya que estos solo se consideran para enlaces de media a larga distancia.

### Perdida en el espacio libre (Lp)

$$(dB) = 92.4 + 20(G - z) + 20\log(km)$$

$$(dB) = 92.4 + 20(11.2) + 20\log(4.27)$$

$$(dB) = 126,00 \text{ dB}$$

El campo eléctrico se calcula con el fin de conocer el voltaje y la potencia que recibe el receptor una vez se transmite a través del enlace. Obteniendo:

$$- 20\log(\text{Distancia en Km}) + 38,7.$$

$$- 20\log(4,27) + 38,7.$$

E (

$$- 20\log(\text{frecuencia en MHz}) - 77,2.$$

$$P \text{ (dBm)} = 88,79 + 35 - 20\log(11200) - 77,2$$

$$P \text{ (dBm)} = -34,39\text{dBm}$$

### Potencia en el receptor (Prx)

$$Prx = Ptx + Gtx + Grx - LLBTx + LLBRx - Lp$$

$$\text{Dónde: } LLBTx = LLBRx = 0.145 \text{ dB}$$

$$Prx = 30 \text{ dBm} + 35 \text{ dBi} + 35\text{dBi} - 0,145 \text{ dB} - 0,145 \text{ dB} - 126,00 \text{ dB}$$

$$Prx = -26,29\text{dBm}.$$

### Margen dinámico

Este margen es la potencia en el receptor menos el umbral de recepción.

$$Dm = Prx - Cmin.$$

$$Dm = -24,06 - (-69 \text{ dBm}) = 44,94 \text{ dB}$$

$$Dm = 44,94 \text{ dB}$$

### Ganancia del Sistema

La descripción matemática de la ganancia del sistema es

$$Gs = Pt > Cmin$$

– ganancias

$$Gs = Ptx - Cmin > Lp + LLBTx + LLBRx - Gt - Gr$$

$$Gs = 30 \text{ dBm} - (-69\text{dBm}) > 126,00 \text{ dB} + 0,145\text{dB} + 0,145\text{dB} - 35 \text{ dB} - 35\text{dB}$$

$$G_s = 99 \text{ dBm} > 56,29 \text{ dBm}$$

### **Cálculo de las pérdidas por lluvia**

La recomendación **UIT-R P.530** establece el procedimiento para calcular las pérdidas producidas por la lluvia a largo plazo. Esta pérdida A(dB) se calcula como

$$A = L \cdot D$$

D

tasa de precipitación (superada el 0,01% del tiempo) de interés, y L = 4.27 km, es la longitud del trayecto:

$$A = 3,43 \text{ dB/km} * 4.27 \text{ km}$$

$$A = 14,64 \text{ dB.}$$

Este resultado evidencia que el enlace podrá funcionar de forma adecuada sin reducción en su rendimiento, bajo las condiciones de atenuación por lluvia consideradas en el cálculo anterior, manteniendo un margen dinámico de 30,30 dB.

### **Enlace Copey – El Amparo**

$$\text{Distancia} = 46,40 \text{ km}$$

$$\text{Frecuencia} = 11.2 \text{ GHz}$$

$$\text{Umbral de recepción} = -83 \text{ dBm}$$

### **Perdida en el espacio libre (Lp)**

$$(dB) = 92.4 + 20(G - z) + 20 \log D(km)$$

$$(dB) = 92.4 + 20(11,2) + 20 \log D(44,40)$$

$$(dB) = 146,55 \text{ dB}$$

### **Margen de desvanecimiento**

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABf) \quad R \quad dB$$

$$R = 0.999$$

$$A = \text{Factor de rugosidad} = 0,25$$

$$B = 1$$

$$F_m = 30(45,55) + 10 \log (6(0,25)) \quad dB$$

$$F_m = 22 \text{ dB}$$

El campo eléctrico se calcula con el fin de conocer el voltaje y la potencia que recibe el receptor una vez se transmite a través del enlace. Obteniendo:

$$- 20\log (\text{Distancia en Km}) + 38,7.$$

$$- 20\log (46,40) + 38,7.$$

E

$$- 20\log(\text{frecuencia en MHz}) - 77,2.$$

$$P (\text{dBm}) = 68,23 + 35 - 20\log(11200) - 77,2$$

$$P (\text{dBm}) = -54,95\text{dBm}$$

### Potencia en el receptor (Prx)

$$Prx = Ptx + Gtx + Grx - LLBTx + LLBRx - Lp - Fm.$$

$$\text{Dónde: } LLBTx = LLBRx = 0.145 \text{ dB}$$

$$Prx = 30 \text{ dBm} + 35 \text{ dBi} + 35\text{dBi} - 0,145 \text{ dB} - 0,145 \text{ dB} - 146,55 \text{ dB} - 22 \text{ dB}$$

$$Prx = -68,84 \text{ dBm.}$$

### Margen dinámico

Este margen es la potencia en el receptor menos el umbral de recepción.

$$Dm = Prx - Cmin.$$

$$Dm = -68,84 - (-83 \text{ dBm}) = 14,6 \text{ dB}$$

$$Dm = 14,6 \text{ dB}$$

### Ganancia del Sistema

La descripción matemática de la ganancia del sistema es

$$Gs = Pt > Cmin$$

– ganancias

$$Gs = Ptx - Cmin > Fm + Lp + LLBTx + LLBRx - Gt - Gr$$

$$Gs = 30 \text{ dBm} - (-83 \text{ dBm}) > 22 \text{ dB} + 146,55 \text{ dB} + 0,145\text{dB} + 0,145\text{dB} - 35 \text{ dB}$$

$$- 35\text{dB}$$

$$Gs = 113 \text{ dBm} > 98,84 \text{ dBm}$$

### **Cálculo de las pérdidas por lluvia**

La recomendación **UIT-R P.530** establece el procedimiento para calcular las pérdidas producidas por la lluvia a largo plazo. Esta pérdida A(dB) se calcula como

$$A = L,$$

Donde

tasa de precipitación (superada el 0,01% del tiempo) de interés, y  $L = 46.40$  km, es la longitud del trayecto:

$$A = 3,43 \text{ dB/km} * 46.40 \text{ km}$$

$$A = 159,152 \text{ dB.}$$

Por lo cual en el momento en que ocurra una precipitación con estas características deja fuera de servicio este enlace. Ya que al sumarse las pérdida por lluvia con las perdidas por propagación en el espacio libre hace que la potencia a la entrada del receptor sea mucho menor que el umbral del receptor.

### **Enlace cerro el Amparo – Baruta**

Distancia: 6,96 km

Frecuencia: 11.2 GHz

Al igual que el primer enlace, al tener una distancia corta entre emisor y receptor el margen de desvanecimiento no es tomado en cuenta, por lo que la pérdida estará representada por  $L_p$  y la pérdida de línea.

### **Perdida en el espacio libre ( $L_p$ )**

$$(dB) = 92.4 + 20(G - z) + 20 \log D(km)$$

$$(dB) = 92.4 + 20(11,2) + 20 \log D(6,96)$$

$$(dB) = 130,23 \text{ dB}$$

### **C**

El campo eléctrico se calcula con el fin de conocer el voltaje y la potencia que recibe el receptor una vez se transmite a través del enlace. Obteniendo:

$$- 20 \log (\text{Distancia en Km}) + 38,7.$$

$$- 20\log (6,96) + 38,7.$$

$$\text{dBi} - 20\log(\text{frecuencia en MHz}) - 77,2.$$

$$P (\text{dBm}) = 84,54 + 35 - 20\log(11200) - 77,2$$

$$P (\text{dBm}) = -41,60\text{dBm}$$

### Potencia en el receptor (Prx)

$$\text{Prx} = \text{Ptx} + \text{Gtx} + \text{Grx} - \text{LLBTx} + \text{LLBRx} - \text{Lp} - \text{Fm}.$$

$$\text{Dónde: LLBTx} = \text{LLBRx} = 0,145 \text{ dB}$$

$$\text{Prx} = 30 \text{ dBm} + 35 \text{ dBi} + 35\text{dBi} - 0,145 \text{ dB} - 0,145 \text{ dB} - 130,23 \text{ dB}$$

$$\text{Prx} = -30,52\text{dBm}.$$

### Margen dinámico

Este margen es la potencia en el receptor menos el umbral de recepción.

$$\text{Dm} = \text{Prx} - \text{Cmin}.$$

$$\text{Dm} = -32 - (-69 \text{ dBm}) = 37 \text{ dB}$$

$$\text{Dm} = 37 \text{ dB}$$

### Ganancia del Sistema

La descripción matemática de la ganancia del sistema es

$$\text{Gs} = \text{Pt} > \text{Cmín}$$

– ganancias

$$\text{Gs} = \text{Ptx} - \text{Cmin} > \text{Lp} + \text{LLBTx} + \text{LLBRx} - \text{Gt} - \text{Gr}$$

$$\text{Gs} = 30 \text{ dBm} - (-69\text{dBm}) > 130,23 \text{ dB} + 0,145\text{dB} + 0,145\text{dB} - 35 \text{ dB} - 35\text{dB}$$

$$\text{Gs} = 99 \text{ dBm} > 62 \text{ dBm}$$

### Cálculo de las pérdidas por lluvia

La recomendación **UIT-R P.530** establece el procedimiento para calcular las pérdidas producidas por la lluvia a largo plazo. Esta pérdida A(dB) se calcula como

$$A = L,$$

Donde

tasa de precipitación (superada el 0,01% del tiempo) de interés, y L = 6.96 km, es la longitud del trayecto:

$$A = 3,43 \text{ dB/km} * 6,96 \text{ km}$$

$$A = 23,87 \text{ dB.}$$

De manera que al adicionar esta pérdida con las pérdidas por propagación en el espacio libre, no significará la caída de servicio de este enlace, cuando existan precipitaciones con estas características.

Luego de concluir con los cálculos teóricos podemos obtener información precisa de la capacidad del enlace y de sus niveles de recepción, dentro de estos se encuentra la pérdida de línea, esta pérdida suele ser mayor cuando se utiliza guías de ondas entre el transmisor y la antena, en el caso de los equipos utilizados (AF-11FX) el radio esta justo detrás de la antena y este modelo en particular se conecta mediante conectores RP-SMA de longitud muy corta lo que reduce la pérdida en gran medida, dentro de este cálculo se tomó en consideración las pérdidas generadas por los conectores sin embargo las pérdidas fueron muy bajas, todos los cálculos realizados son de relevante importancia ya que comprueban la calidad del enlace según los parámetros utilizados.

Dentro de estos se encuentra la frecuencia, para todos los enlaces se usó una frecuencia promedio (11200 MHz) entre la frecuencia mínima y máxima de los equipos, ya que los resultados teóricos no varían mucho al cambiar la frecuencia dentro de ese rango, para los enlaces de corta distancia (A1 – Copey, Amparo – Baruta) se consideró la sensibilidad del receptor en  $-69 \text{ dBm}$ , según el Datasheet del radio (Anexo C) esta es la sensibilidad que tiene el receptor para transmitir 602 Mbps para un ancho de 40 MHz en modulación MIMO, debido a la ganancia del sistema a estas distancia se garantiza la confiabilidad del enlace para mencionada velocidad.

Por otra parte en el enlace entre Copey – Amparo se consideró un umbral de recepción de  $-83 \text{ dBm}$  con la finalidad de obtener un enlace más confiable, garantizando 200 Mbps en codificación QPSK MIMO con ancho de banda en 40 MHz, sin embargo obteniendo un mejor nivel de recepción se puede aumentar las velocidades de transmisión. Cabe destacar que el umbral mínimo de estos equipos es  $-95 \text{ dBm}$ .

Al realizar los cálculos de pérdida por lluvia en los diferentes tramos del enlace, se pudo apreciar que el más afectado es el enlace Copey – Amparo, esto debido a la

distancia entre su emisor y receptor. Considerando la indisponibilidad arrojada en estos cálculos es preciso tener en cuenta contramedidas.

#### 4.3.4 Tablas de comparación entre cálculos simulados y teóricos

A continuación, se muestran las tablas de comparación de resultados:

##### Enlace Torre A1 – Copey

Calculo	Teórico	Simulado
PER	1,862 kW	1,87 kW
PIRE	3,054 kW	3,06 kW
Perdidas Lp	124,18 dB	128,6 dB
Campo E	90,59	94,5
Potencia en el receptor	-24,47 dBm	-28,8dBm
Margen dinámico	44,94 dB	40,2 dB

Tabla 5: Comparación cálculos teóricos y simulados (Torre A1 – Copey)

Fuente: El Autor

##### Enlace Distribuidora GSC – Copey

Calculo	Teórico	Simulado
PER	1,862 kW	1,87 kW
PIRE	3,054 kW	3,06 kW
Perdidas Lp	126,00 dB	125,2 dB
Campo E	88,79	97,8
Potencia en el receptor	-26,29dBm	-25,5dBm
Margen dinámico	44,94 dB	43,5 dB

Tabla 6: Comparación cálculos teóricos y simulados (Distribuidora GSC – Copey)

Fuente: El Autor

### Enlace Copey – El Amparo

Calculo	Teórico	Simulado
PER	1,862 kW	1,87 kW
PIRE	3,054 kW	3,06 kW
Perdidas Lp	146,55 dB	151,4 dB
Campo E	68,23	71,2
Potencia en el receptor	-68,84 dBm	-52,1dBm
Margen dinámico	14,6 dB	16,9 dB

Tabla 7: Comparación cálculos teóricos y simulados (Copey – Amparo)

Fuente: El Autor

### Enlace El Amparo – Baruta

Calculo	Teórico	Simulado
PER	1,862 kW	1,87 kW
PIRE	3,054 kW	3,06 kW
Perdidas Lp	130,23 dB	131,9 dB
Campo E	84,54	9
Potencia en el receptor	-30,52dBm	-32,1 dBm
Margen dinámico	37,0 dB	36,9 dB

Tabla 8: Comparación cálculos teóricos y simulados (Amparo - Baruta)

Fuente: El Autor

Como se puede observar en las tablas anteriores, se muestra en la primera columna el cálculo realizado, seguido de la columna con los resultados teóricos y finalmente la de resultados simulados. De esta forma podemos comparar los resultados obtenidos, entre los cálculos expuestos se encuentran los de mayor importancia a la hora del diseño de un enlace. En la tabla 6 se visualiza resultados similares entre los

teóricos y simulados, como fue notificado anteriormente en este enlace no se consideró margen de desvanecimiento en los cálculos teóricos debido a la corta distancia del enlace, por lo que entre los resultados teóricos y simulados existe poca diferencia.

En la tabla 7 los cálculos de nivel de recepción y margen dinámico discrepan un poco, esto se debe a que en los cálculos teóricos se toma en consideración el margen de desvanecimiento con parámetros geográficos y climáticos que agregan una pérdida considerable que no es tomada en cuenta en los cálculos simulados, generando cierta diferencia entre los resultados. Por otro lado en la tabla 8 los resultados obtenidos son muy similares entre teóricos y simulados en este enlace tampoco fue considerado el margen de desvanecimiento en los cálculos teóricos debido a la corta distancia del mismo.

#### **4.3.5 Requisitos Técnicos para licitación de frecuencias**

A continuación, se exponen los recaudos técnicos que deberán consignar los interesados en obtener una habilitación general con el atributo de transporte ante el ente regulador CONATEL. Cabe mencionar que estos recaudos fueron suministrados por el ente regulador CONATEL a través de su página web.

##### **1. Descripción general del proyecto**

**a.** Para los sistemas punto a multipunto y punto a zona, deberán indicar la zona de cobertura del servicio, en función de los Municipios a cubrir, es decir, la zona geográfica en la que se llevará a cabo el establecimiento y explotación de la red, o la prestación del servicio de telecomunicaciones.

**b.** Para los enlaces de conexión entre estaciones (sistemas punto a punto), deberá indicar los nombres de las estaciones entre las cuales se pretende realizar el enlace.

##### **2. Descripción de la red**

**a.** Indicar la cantidad de estaciones que se pretenda instalar, detallando para cada una de ellas lo siguiente:

**i.** Nombre y dirección de la estación, especificando la Parroquia, el Municipio y el Estado, sus coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM)

y coordenadas geográficas (latitud y longitud, expresadas en grados, minutos y segundos) y la altura de la estación sobre el nivel del mar, expresada en metros.

**ii.** Para los sistemas punto a multipunto y punto a zona, el área de servicio de la estación, especificando el (los) Municipio(s), en un mapa de cobertura a una escala, en la cual se visualice claramente toda el área de interés.

**iii.** Cantidad total de equipos utilizados en la estación, especificando para cada uno de ellos lo indicado en el ANEXO T-2A.

**b.** Diagrama que muestre la disposición y topología de la red, donde se indiquen los elementos que componen el sistema, y en el caso de la utilización de espectro radioeléctrico, la conexión de los mismos señalando la correspondencia entre estaciones transmisoras y receptoras (ANEXO T-1A Y T-1B).

**c.** Medios de transmisión y tecnologías a emplear para la conexión de las estaciones.

**d.** Descripción de la interconexión con redes de otras operadoras, de ser el caso.

**e.** Descripción del sistema de gestión, supervisión y administración de la red.

**f.** Para cada una de las estaciones o nodos según sea el caso, deberá indicar

**i.** Dirección donde se encuentra la estación, especificando la Parroquia, Municipio y el Estado, sus coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) y coordenadas geográficas (latitud y longitud, expresadas en grados, minutos y segundos) y la altura de la estación sobre el nivel del mar, expresada en metros.

**ii.** Cantidad total de equipos utilizados en la estación, especificando para cada uno de ellos, el tipo de equipo, la marca y modelo, y los catálogos de los mismos.

### **3. Capacidad del sistema y capacidad a instalar**

Indicar la capacidad total del sistema en número de usuarios y describir la metodología utilizada para determinarla, tomando en cuenta la estimación de la demanda de usuarios que atenderá con la ejecución del proyecto, de acuerdo con proyecciones del mercado.

#### **4. Objetivos de calidad de servicio (aplica sólo para prestación de servicio a terceros)**

Describir los parámetros de disponibilidad, especificando la metodología empleada para obtener tales valores, en función de la topología de la red que soporta el servicio y los equipos que la conforman. Deben indicarse sus parámetros de tiempo de falla y tiempo de reparación, así como los modos de operación (Stand by, Hot stand by, etc.) (ANEXO T-3).

#### **5. Cronograma de ejecución (aplica sólo para prestación de servicio a terceros)**

Presentar un cronograma detallado de las actividades de implementación a realizar, indicando los lapsos de tiempo para la instalación y prestación del servicio de telecomunicaciones, tomando como punto de inicio el momento en que se otorga la habilitación. Los lapsos de tiempo deben ser indicados en función de semanas o meses (ANEXO T-4)

#### **Requerimiento de recursos limitados**

#### **Otorgamiento de concesiones de uso y explotación del espectro radioeléctrico POR ADJUDICACIÓN DIRECTA**

El interesado que requiera el otorgamiento de una concesión de uso y explotación del espectro radioeléctrico a los efectos de prestar el servicio de telecomunicaciones para el cual resulte habilitado, deberá consignar, conjuntamente con el (los) tomo(s) contentivo(s) del proyecto técnico, lo indicado en el anexo t-9 de la presente guía.

Cuando las porciones de espectro radioeléctrico sean solicitadas a los fines de realizar enlaces de conexión vía radio entre estaciones (celdas o centrales), satelitalmente o de manera inalámbrica, el interesado deberá presentar los recaudos que se encuentran indicados en el anexo t-10 de la presente guía.

Todos los anexos referenciados en el texto anterior pueden encontrarse a partir del anexo E del presente informe.

## CONCLUSIONES

La dificultad del terreno entre las ciudades de Valencia y Tinaquillo, hace poco factible la utilización de medios físicos para el transporte de datos, ya sea mediante cables coaxiales o de fibra óptica. Aunado a esto, la situación del país hace que depender de terceros para el transporte de datos, sea cual sea el método que utilicen, genere riñas con los interesados puesto que muchas veces el servicio se verá afectado por cosas que no pueden controlar.

Es por esto que la mejor solución es tener una red interna propia para poder corregir cualquier interrupción en el servicio de manera inmediata. En el caso de Valencia y Tinaquillo, la mejor manera de lograr esto es a través de un enlace de microondas. Normalmente estos enlaces se hacen bandas libres de frecuencia, sin embargo, la saturación de esta banda a nivel nacional y a la interferencia que ésta genera, hace necesario el uso de bandas licenciadas.

Como pudimos observar, las bandas de frecuencia licenciadas poseen muchas ventajas sobre las bandas libres. La más importante es que una vez atribuido el permiso para utilizar dicha banda, ésta nunca tendrá interferencia por terceros puesto que sólo quien posee el permiso podrá utilizarla en el área determinada para ello. Lo cual quiere decir que una vez hecha la inversión de los equipos, y los trámites pertinentes para la otorgación de los atributos de transporte por parte de CONATEL, el interesado tendrá un enlace funcional y a velocidades que satisfagan todas sus necesidades durante muchos años o incluso décadas.

Por lo que podemos concluir que cuando se trata de la mejor manera interconectar dos localidades en zonas muy pobladas, ya sea a corta a larga distancia, la respuesta siempre será utilizar bandas licenciadas, no sólo por las velocidades que puede llegar a alcanzar sino por la autonomía que esto le genera al interesado.

## **RECOMENDACIONES**

La recomendación más clara es la de que si se está por tomar la decisión de instalar un enlace de microondas y bajo las posibilidades se encuentra la de utilizar una banda licenciada, al elegir esa banda estará tomando la decisión correcta a largo plazo.

Otra de las recomendaciones a considerar sería la de agregar protección a los enlaces.

Tener un respaldo energético se ha vuelto imprescindible en este momento de la historia de nuestro país, bien sea teniendo una planta eléctrica o un banco de baterías, esto será crucial para mantener el enlace funcionando incluso cuando haya una caída del suministro eléctrico.

Poner una puesta a tierra también sería pertinente a manera de proteger a los equipos de los bruscos cambios de tensión que a menudo ocurren en el país.

## REFERENCIAS

### Referencias Bibliográficas:

- Carcotsicas, E. (2012), **Estudio y diseño de una red de interconexión entre las sedes de Onlyticket eventos caracas, Puerto Ordaz y panamá.** Trabajo Especial de Grado. Publicado .Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.
- Carvajal, M. (2012). **“Diseño eficiente de redes de transporte de datos para los sistemas y servicios de tráfico inteligente ofrecidos por el grupo IntecSolutions.** Trabajo Especial de Grado. Publicado. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.
- Gonzales, L. (2015).**Propuesta para la mejora de la red de enlaces de microondas del Grupo Inversiones Geandina C.A Valencia Estado Carabobo.** Informe de Pasantías. Universidad José Antonio Páez (UJAP). Valencia, Venezuela.
- Tomasi, W. (2003). **Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.** (4ta Ed.). México: Editorial Pearson Educación.

### Referencias Electrónicas:

- Buettrich, S. (2007). **Cálculo de Radioenlace.** [Documento en línea]. Disponible: [http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_guia\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf) [Consulta: Octubre 2017].
- Enciclopedia Financiera. (2016). **Historia de la comunicación humana.** [Documento en línea]. Disponible: <http://www.lacomunicacionhumana.co/articulos/historia-de-la-comunicacion-humana.html>.
- García, H. (2016). **Radio enlaces microondas.** [Documento en línea]. Disponible: <http://ingenierosdetelecomunicaciones.blogspot.com/p/tv-digital.html>.
- Roberto Hernandez Sampieri (2014).**Metodología de la Investigación.** [Documento en línea]. Disponible: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Ramón Ruiz Limón (2006).**Historia y Evolución del Pensamiento Científico.** [Documento en línea]. Disponible: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007a/257/#indice>

- Fidias Gerardo Arias Odón(2006). **El Proyecto de Investigación**. [Documento en línea].  
Disponible:[http://www.colegioiberoamericano.edu.ve/pdf/FidiasArias-proyecto\\_Invest\\_6taEdic.pdf](http://www.colegioiberoamericano.edu.ve/pdf/FidiasArias-proyecto_Invest_6taEdic.pdf)
- Maritza Barrios Yaselli (2005). **Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales**. [Documento en línea].  
Disponible:<http://www.ipm.upel.edu.ve/documentospdf/Reglamentos/Estudiantes/ManualdeTrabajosdeGradodeEspecializacionyMaestriayTesisDoctorales2016.pdf>
- Mario Tamayo y Tamayo (1999). El Proceso de la Investigación Científica. [Documento en línea]. Disponible:<http://evirtual.uaslp.mx/ENF/220/Biblioteca/Tamayo%20Tamayo-El%20proceso%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica2002.pdf>
- Rafael BisquerraAlzina (1990). **Metodología de la Investigación**. [Documento en línea].  
Disponible: [www.ugr.es/~calbacet/secundaria/secundaria.pdf](http://www.ugr.es/~calbacet/secundaria/secundaria.pdf)

# **ANEXOS**

## Anexo A

### Especificaciones del UbiquitiPowerBeam 5AC 400.

PBE-5AC-Gen2				
Dimensions	420 x 420 x 230 mm (16.54 x 16.54 x 9.06")			
Weight	2.22 kg (4.89 lb)			
Gain	25 dBi			
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port			
Processor	MIPS 74Kc			
Enclosure Characteristics Antenna Feed Dish Reflector	Outdoor UV Stabilized Plastic Powder-Coated SPCC			
Max. Power Consumption	8.5W			
Max. TX Power	24 dBm			
Power Supply	24V, 0.5A Gigabit PoE Adapter (Included)			
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)			
Supported Voltage Range	20 to 26VDC			
Wind Loading	380 N @ 200 km/h (85.4 lbf @ 125 mph)			
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)			
Mounting	Pole Mounting Kit Included			
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)			
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing			
Shock and Vibrations	ETSI300-019-1.4			
Certifications	CE, FCC, IC			
Operating Frequency (MHz)				
Worldwide	5150 - 5875			
USA	U-NII-1: 5150 - 5250	U-NII-2A: 5250 - 5350	U-NII-2C: 5470 - 5725	U-NII-3: 5725 - 5850
Management Radio (MHz)				
Worldwide	2412 - 2472			
USA	2412 - 2462			

## Anexo B

Especificaciones del UbiquitiPowerBeam 5AC 620.

PBE-5AC-620	
Dimensions	650 x 650 x 386 mm (25.6 x 25.6 x 15.2")
Weight	6.4 kg (14.11 lb)
Gain	29 dBi
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port
Enclosure	Outdoor UV Stabilized Plastic
Max. Power Consumption	8.5W
Max. Output Power	24 dBm
Power Supply	24V, 0.5A Gigabit PoE Supply (Included)
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	872 N @200 km/h (196 lbf @125 mph)
Mounting	Pole Mounting Kit Included
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing
Shock and Vibrations	ETSI300-019-1.4
Certifications	CE, FCC, IC

Operating Frequency (MHz)				
Worldwide	5150 - 5875			
USA	U-NII-1	U-NII-2A	U-NII-2C	U-NII-3
	5150 - 5250	5250 - 5350	5470 - 5725	5725 - 5850

## Anexo C

### Especificaciones del radio AF-11FX



## Specifications

AF-11FX	
Dimensions	327 x 112 x 86 mm (12.87 x 4.41 x 3.39")
Weight	2.260 kg (5 lb)
RF Connectors	(4) SMA Weatherproof: TX 0, RX 0 (Chain 0) and TX 1, RX 1 (Chain 1) (2) N-Type Waterproof, One per Duplexer
Power Supply	50VDC, 1.2A PoE Gigabit Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet Pins 1, 2, 4, 5 (+) and Pins 7, 8, 3, 6 (-) or DC Power Block
Max. Power Consumption	36W
Supported Voltage Range	38-56VDC
Automatic Transmit Power Control (ATPC)	Yes
Mounting	Integrated Pole Mount included Oversized Rocket Mount Compatible
LEDs	(8) Status LEDs: Data Port Link/Activity Management Port Link/Activity MIMO Mode RF Link (4) Autocalcing Signal Strength Bar Graph
Operating Temperature	-40 to 55° C (-40 to 131° F)
Certifications	CE, FCC, IC

AF-11FX Networking Interface	
Data Port	(1) 10/100/1000 Ethernet Port
Management Port	(1) 10/100 Ethernet Port

AF-11FX System	
Processor	INVICTUS 2 IC
Maximum Throughput	1.2+ Gbps <sup>1</sup>
Maximum Range	300+ km <sup>2</sup>
Encryption	128-bit AES
OS	airOS <sup>®</sup> F
Wireless Modes	SSO/MIMO
Latency Full Duplex Mode	< 200 µs at Full Throughput
MTU (Maximum Transmission Unit)	Up to 9600

<sup>1</sup> Throughput and suspension time may vary depending on the environmental conditions.

AF-11FX Radio	
Frequency Range	10.7-11.7 GHz <sup>1</sup>
Max. Conducted TX Power	30 dBm <sup>2</sup> (Dependent on Regulatory Region)
Frequency Accuracy	± 2.0 ppm
Channel Bandwidth	3.5/5/7/10/14/20/28/30/40/50/56 MHz Selectable <sup>2</sup>

AF-11FX Suggested Max. TX Power	
10x (1024QAM)	18 dBm
8x (256QAM)	21 dBm
6x (64QAM)	24 dBm
4x (16QAM)	30 dBm
2x (4QAM)	30 dBm
1x (QPSK)	30 dBm

AF-11FX Duplexer	
Low-Band Duplexer	Low Channel: 10.700 to 10.955 GHz High Channel: 11.200 to 11.445 GHz
High-Band Duplexer	Low Channel: 10.940 to 11.200 GHz High Channel: 11.440 to 11.700 GHz

<sup>1</sup> For region-specific details, refer to the Compliance chapter of the airFiber AF-11FX User Guide at <https://www.airfiber.com/downloads/af11fx>

<sup>2</sup> Channel enable may vary according to country/region regulations.



4F-11FX Capacity					
Channel Bandwidth	Mode	Constellation	Rate Multiplier	One-Directional Capacity (Mbps)	Bi-Directional Capacity (Mbps)
3.5 MHz	MIMO	1024 QAM	10x	38.4	76.8
		256 QAM	8x	30.7	61.4
		64 QAM	6x	23	46.0
		16 QAM	4x	15.4	30.8
		QPSK	2x	7.7	15.4
	SISO	QPSK xRT™	1x	3.8	7.6
		1024 QAM	5x	19.2	38.4
		256 QAM	4x	15.35	30.7
		64 QAM	3x	11.5	23.0
		16 QAM	2x	7.7	15.4
5 MHz	MIMO	QPSK	1x	3.85	7.7
		1024 QAM	10x	60.8	121.6
		256 QAM	8x	48.65	97.3
		64 QAM	6x	36.5	73.0
		16 QAM	4x	24.3	48.6
	SISO	QPSK	2x	12.1	24.2
		QPSK xRT™	1x	6.1	12.2
		1024 QAM	5x	30.4	60.8
		256 QAM	4x	24.3	48.6
		64 QAM	3x	18.25	36.5
7 MHz	MIMO	16 QAM	2x	12.15	24.3
		QPSK	1x	6.05	12.1
		1024 QAM	10x	86.4	172.8
		256 QAM	8x	69.1	138.2
		64 QAM	6x	51.8	103.6
	SISO	16 QAM	4x	34.6	69.2
		QPSK	2x	17.3	34.6
		QPSK xRT™	1x	8.6	17.2
		1024 QAM	5x	43.2	86.4
		256 QAM	4x	34.55	69.1
10 MHz	MIMO	64 QAM	3x	25.9	51.8
		16 QAM	2x	17.3	34.6
		QPSK	1x	8.65	17.3
		1024 QAM	10x	128	256.0
		256 QAM	8x	102.4	204.8
	SISO	64 QAM	6x	76.8	153.6
		16 QAM	4x	51.2	102.4
		QPSK	2x	25.6	51.2
		QPSK xRT™	1x	12.8	25.6
		1024 QAM	5x	64	128.0
	SISO	256 QAM	4x	51.2	102.4
		64 QAM	3x	38.4	76.8
		16 QAM	2x	25.6	51.2
		QPSK	1x	12.8	25.6

AF-11FX Capacity					
Channel Bandwidth	Mode	Constellation	Rate Multiplier	One-Directional Capacity (Mbps)	Bi-Directional Capacity (Mbps)
14 MHz	MIMO	1024 QAM	10x	182.4	364.8
		256 QAM	8x	145.9	291.8
		64 QAM	6x	109.4	218.8
		16 QAM	4x	72.9	145.8
		QPSK	2x	36.5	73.0
		QPSK xRT™	1x	18.2	36.4
	SISO	1024 QAM	5x	91.2	182.4
		256 QAM	4x	72.95	145.9
		64 QAM	3x	54.7	109.4
		16 QAM	2x	36.45	72.9
		QPSK	1x	18.25	36.5
20 MHz	MIMO	1024 QAM	10x	259.2	518.4
		256 QAM	8x	207.3	414.6
		64 QAM	6x	155.5	311.0
		16 QAM	4x	103.7	207.4
		QPSK	2x	51.8	103.6
		QPSK xRT™	1x	25.9	51.8
	SISO	1024 QAM	5x	129.6	259.2
		256 QAM	4x	103.65	207.3
		64 QAM	3x	77.75	155.5
		16 QAM	2x	51.85	103.7
		QPSK	1x	25.9	51.8
28 MHz	MIMO	1024 QAM	10x	361.6	723.2
		256 QAM	8x	289.3	578.6
		64 QAM	6x	216.9	433.8
		16 QAM	4x	144.6	289.2
		QPSK	2x	72.3	144.6
		QPSK xRT™	1x	36.2	72.4
	SISO	1024 QAM	5x	180.8	361.6
		256 QAM	4x	144.65	289.3
		64 QAM	3x	108.45	216.9
		16 QAM	2x	72.3	144.6
		QPSK	1x	36.2	72.4
30 MHz	MIMO	1024 QAM	10x	384	768.0
		256 QAM	8x	307.2	614.4
		64 QAM	6x	230.4	460.8
		16 QAM	4x	153.6	307.2
		QPSK	2x	76.8	153.6
		QPSK xRT™	1x	38.4	76.8
	SISO	1024 QAM	5x	192	384.0
		256 QAM	4x	153.6	307.2
		64 QAM	3x	115.2	230.4
		16 QAM	2x	76.8	153.6
		QPSK	1x	38.4	76.8

AF-11FX Capacity					
Channel Bandwidth	Mode	Constellation	Rate Multiplier	One-Directional Capacity (Mbps)	Bi-Directional Capacity (Mbps)
40 MHz	MIMO	1024 QAM	10x	502.4	1004.8
		256 QAM	8x	401.8	803.6
		64 QAM	6x	301.4	602.8
		16 QAM	4x	200.9	401.8
		QPSK	2x	100.4	200.8
	QPSK xRT™	1x	50.2	100.4	
	SISO	1024 QAM	5x	251.2	502.4
		256 QAM	4x	200.9	401.8
		64 QAM	3x	150.7	301.4
		16 QAM	2x	100.45	200.9
QPSK		1x	50.2	100.4	
50 MHz <sup>4</sup>	MIMO	1024 QAM	10x	617.6	1235.2
		256 QAM	8x	494.1	988.2
		64 QAM	6x	370.6	741.2
		16 QAM	4x	247	494.0
		QPSK	2x	123.5	247.0
	QPSK xRT™	1x	61.8	123.6	
	SISO	1024 QAM	5x	308.8	617.6
		256 QAM	4x	247.05	494.1
		64 QAM	3x	185.3	370.6
		16 QAM	2x	123.5	247.0
QPSK		1x	61.75	123.5	
56 MHz <sup>4</sup>	MIMO	1024 QAM	10x	687.9	1375.8
		256 QAM	8x	550.4	1100.8
		64 QAM	6x	412.8	825.6
		16 QAM	4x	275.2	550.4
		QPSK	2x	137.6	275.2
	QPSK xRT™	1x	68.8	137.6	
	SISO	1024 QAM	5x	343.95	687.9
		256 QAM	4x	275.2	550.4
		64 QAM	3x	206.4	412.8
		16 QAM	2x	137.6	275.2
QPSK		1x	68.8	137.6	

<sup>4</sup> Used only for 80 MHz licensing for the FCC.



AF-11FX Receive MIMO Sensitivity in dBm												
Data Rate	Modulation	Channel (MHz)										
		3.5	5	7	10	14	20	28	30	40	50	56
10x	1024QAM MIMO	-64.5	-63.0	-61.5	-60.0	-58.5	-57.0	-55.5	-55.2	-54.0	-53.0	-52.5
8x	256QAM MIMO	-72.5	-71.0	-69.5	-68.0	-66.5	-65.0	-63.5	-63.2	-62.0	-61.0	-60.5
6x	64QAM MIMO	-79.5	-78.0	-76.5	-75.0	-73.5	-72.0	-70.5	-70.2	-69.0	-68.0	-67.5
4x	16QAM MIMO	-86.5	-85.0	-83.5	-82.0	-80.5	-79.0	-77.5	-77.2	-76.0	-75.0	-74.5
2x	QPSK MIMO	-93.5	-92.0	-90.5	-89.0	-87.5	-86.0	-84.5	-84.2	-83.0	-82.0	-81.5
1x	1/4 Rate QPSK xRT	-95.5	-94.0	-92.5	-91.0	-89.5	-88.0	-86.5	-86.2	-85.0	-84.0	-83.5

AF-11FX Receive SISO Sensitivity in dBm												
Data Rate	Modulation	Channel (MHz)										
		3.5	5	7	10	14	20	28	30	40	50	56
5x	1024QAM SISO	-64.5	-63.0	-61.5	-60.0	-58.5	-57.0	-55.5	-55.2	-54.0	-53.0	-52.5
4x	256QAM SISO	-72.5	-71.0	-69.5	-68.0	-66.5	-65.0	-63.5	-63.2	-62.0	-61.0	-60.5
3x	64QAM SISO	-79.5	-78.0	-76.5	-75.0	-73.5	-72.0	-70.5	-70.2	-69.0	-68.0	-67.5
2x	16QAM SISO	-86.5	-85.0	-83.5	-82.0	-80.5	-79.0	-77.5	-77.2	-76.0	-75.0	-74.5
1x	QPSK SISO	-93.5	-92.0	-90.5	-89.0	-87.5	-86.0	-84.5	-84.2	-83.0	-82.0	-81.5



Specifications are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at: [www.ubnt.com/customer-warranty](http://www.ubnt.com/customer-warranty)  
 ©2016/2017 Ubiquiti Networks, Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti U logo, the Ubiquiti green logo, airFiber, airOS, BWCTL5, and airT are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Networks, Inc. in the United States and in other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.



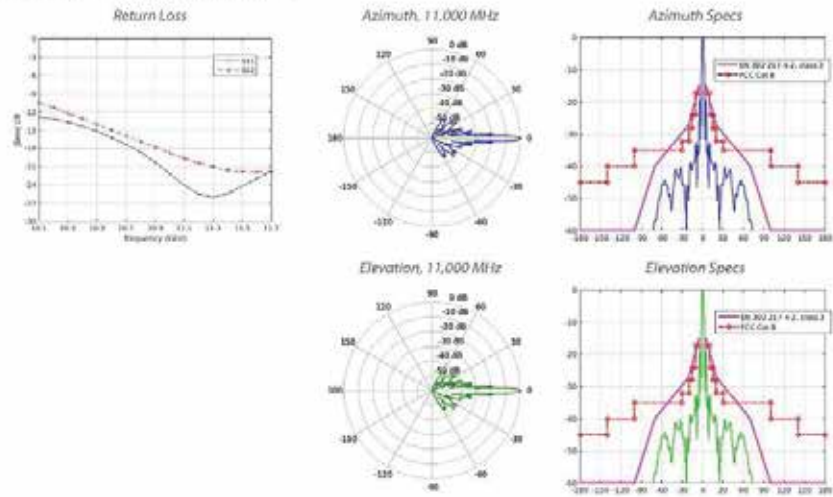
## Anexo D

### Especificaciones de antena AF 11G35

## Specifications

AF-11G35 Antenna Characteristics	
Dimensions	ø 111 x 400 mm (ø 31.9 x 10.1")
Weight	Mount Not Included : 7.14 kg (15.74 lb) Mount Included : 11.85 kg (26.12 lb)
Frequency Range	10.3 - 11.7 GHz
Gain	35 dBi
HPOL Beamwidth	2.5°
VPCX Beamwidth	2.5°
Front-to-Back Ratio	60 dB
Max. VSWR	2:1
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	1538 N @ 200 km/h (346 lbf @ 125 mph)
Polarization	Default: H/V After Rotating OMT: ± 45°
Cross-Pol Isolation	35 dB
Mounting	Uses the AF-5/AF-5U Mounting System
Pattern Regulatory	ETSI 302 217-4-2, Class 3 and FCC Cat B

### AF-11G35 Antenna Information



Specifications are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at [www.ubnt.com/support/warranty](http://www.ubnt.com/support/warranty).  
 © 2016-2017 Ubiquiti Networks, Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti U logo, the Ubiquiti logo, airFiber, airMAX, airCTL, and Rocket are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Networks, Inc. in the United States and in other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.

**Anexo E**

Torres de comunicación involucradas en los enlaces.

**Baruta**



Distribuidora GSC



## Cerro Copey



## Cerro el Amparo



## Anexo F

Rec. UIT-R PN.837-1

### RECOMENDACIÓN UIT-R PN.837-1 CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACIÓN PARA ESTABLECER MODELOS DE PROPAGACIÓN

(Cuestión UIT-R 201/3) (1992-1994) Rec. UIT-R PN.837-1

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

- que se necesita información sobre las estadísticas de intensidad de la precipitación para la predicción de la atenuación y de la dispersión producidas por la precipitación;
- que esa información se necesita para todos los emplazamientos del mundo;
- que se ha preparado una versión digitalizada de los mapas de las zonas hidrometeorológicas que puede resultar útil para algunas aplicaciones informatizadas, recomienda

- que se utilicen las figs. 1 a 3 al seleccionar las zonas hidrometeorológicas para la predicción de los efectos de la precipitación;
- que se utilice el cuadro 1 para obtener una estimación de la distribución acumulativa mediana de las intensidades de lluvia en las regiones hidrometeorológicas;
- que, cuando cualquier aplicación informatizada necesite la zona hidrometeorológica para un conjunto de cualquiera de las coordenadas geográficas, se utilice el programa RAINZONE. (El soporte lógico de RAINZONE está disponible en la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT.)

CUADRO 1

#### Zonas hidrometeorológicas

Intensidad de la lluvia excedida (mm/h) (Véanse las figs. 1 a 3)

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	< 0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24
0,3	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Rec. UIT-R PN.837-1

FIGURA 1  
(Véase el cuadro 1)

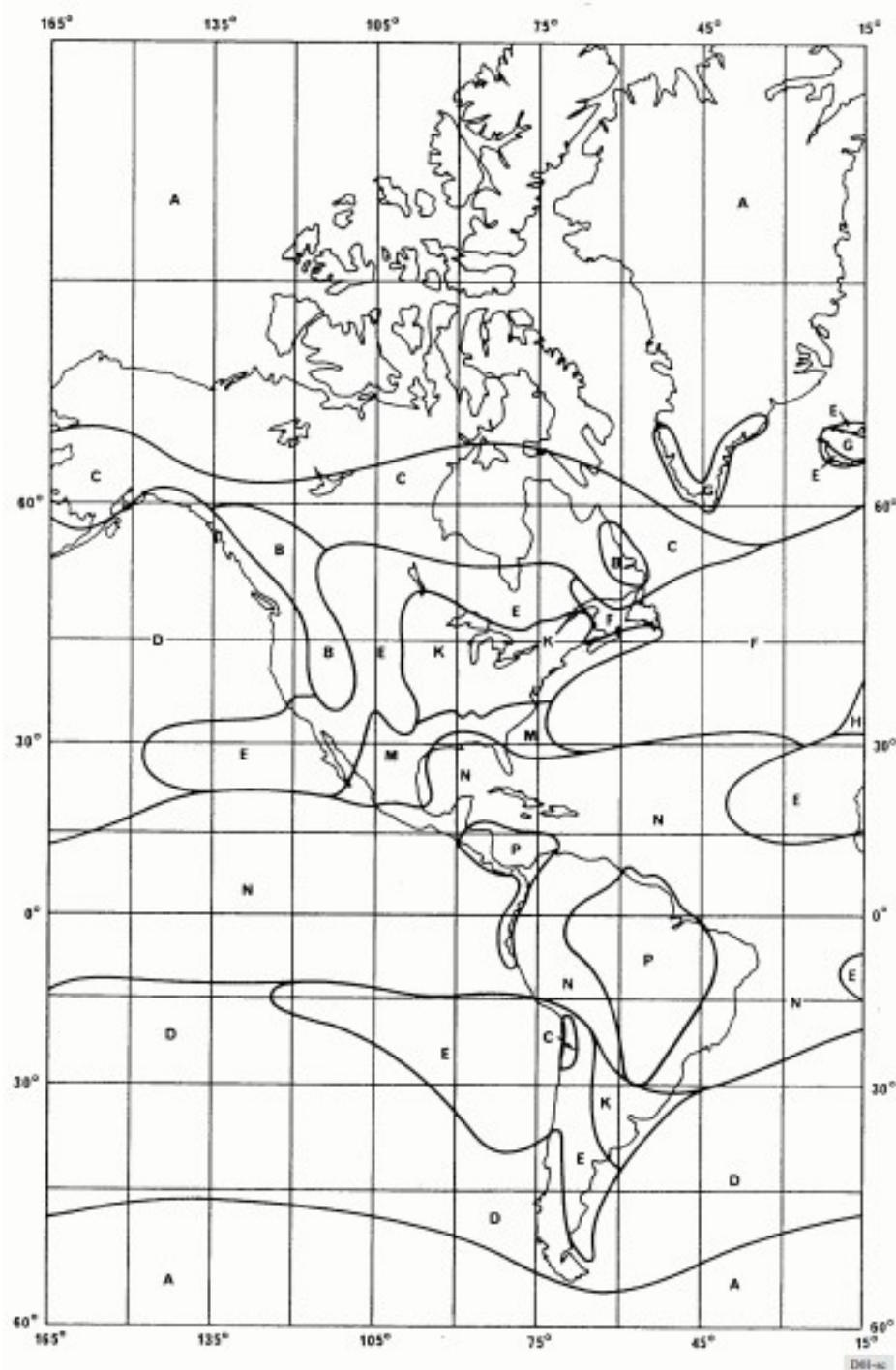


FIGURA 2  
(Véase el cuadro 1)

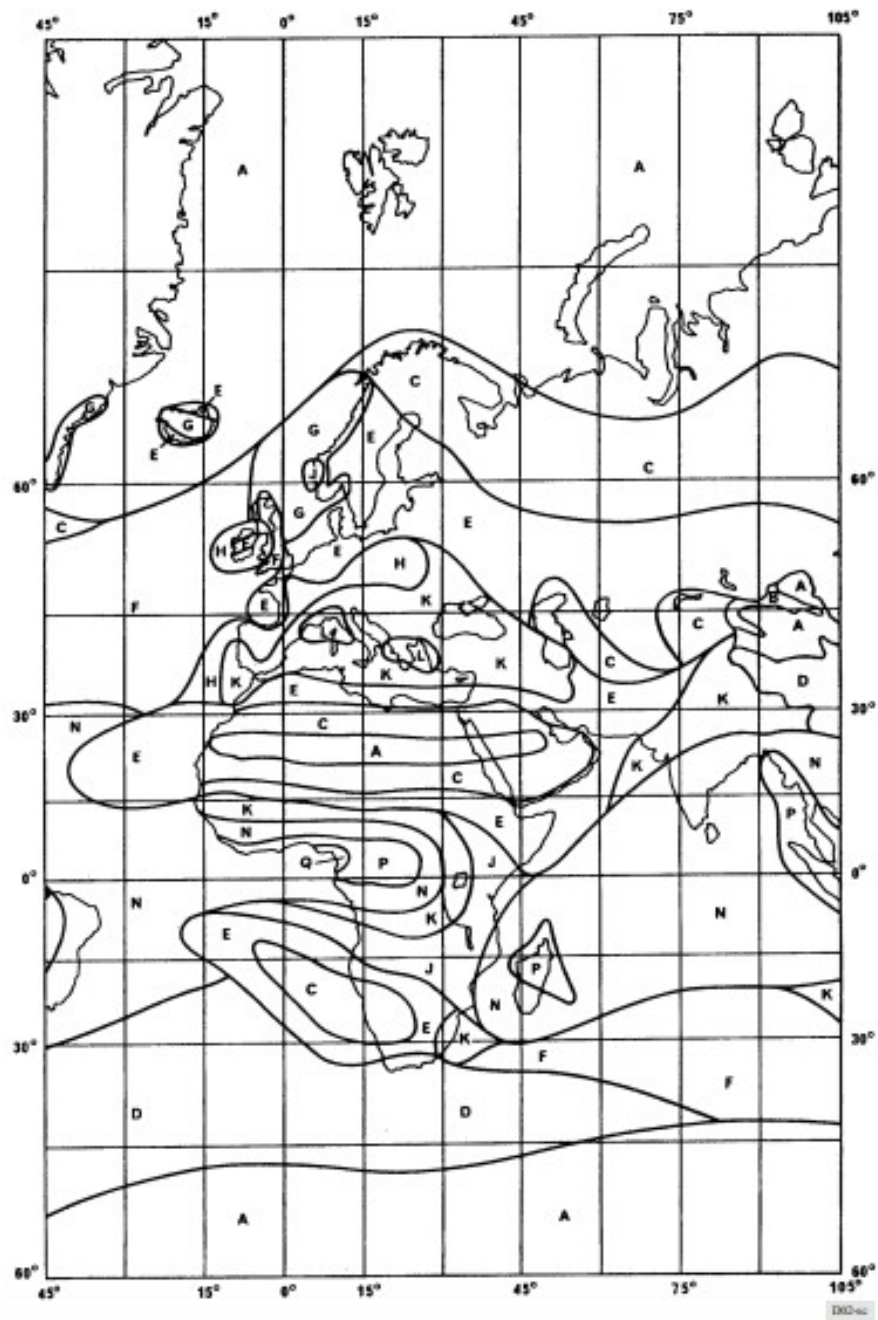
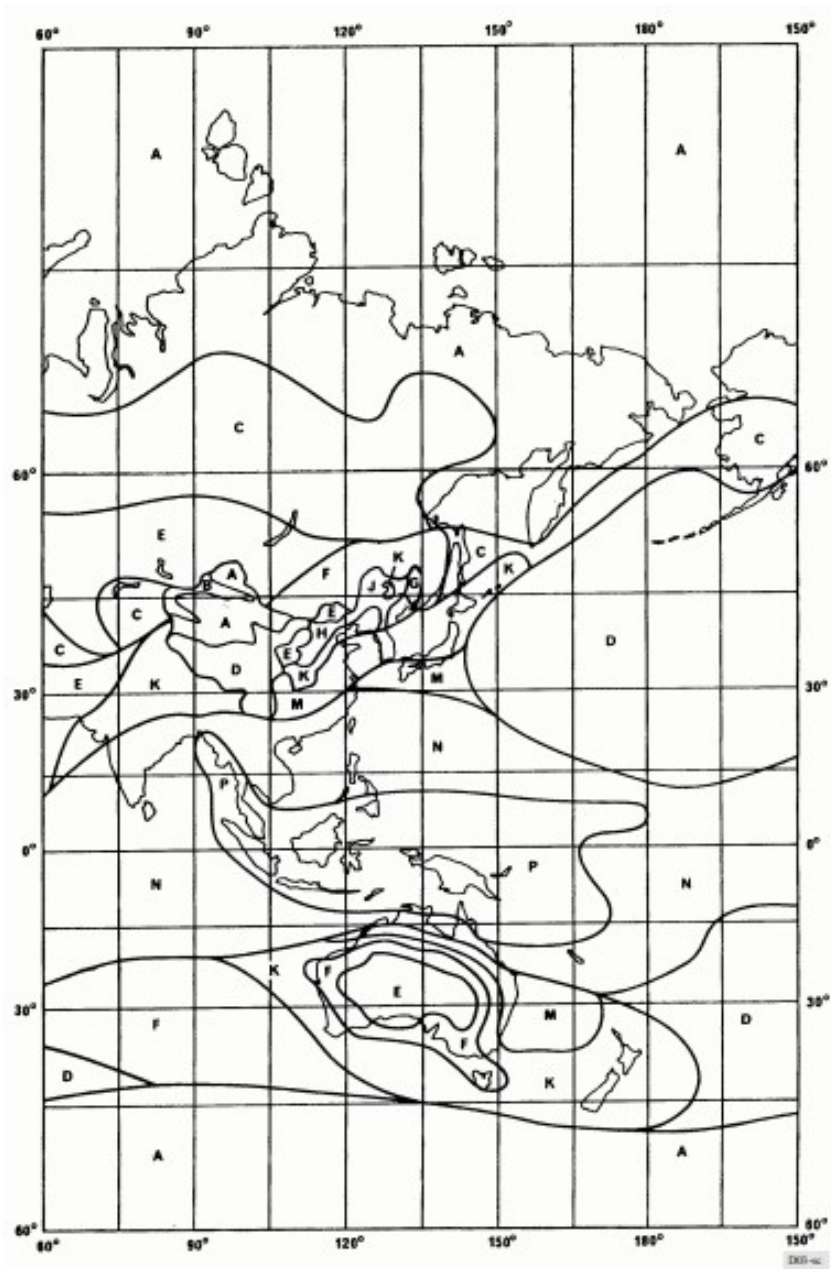
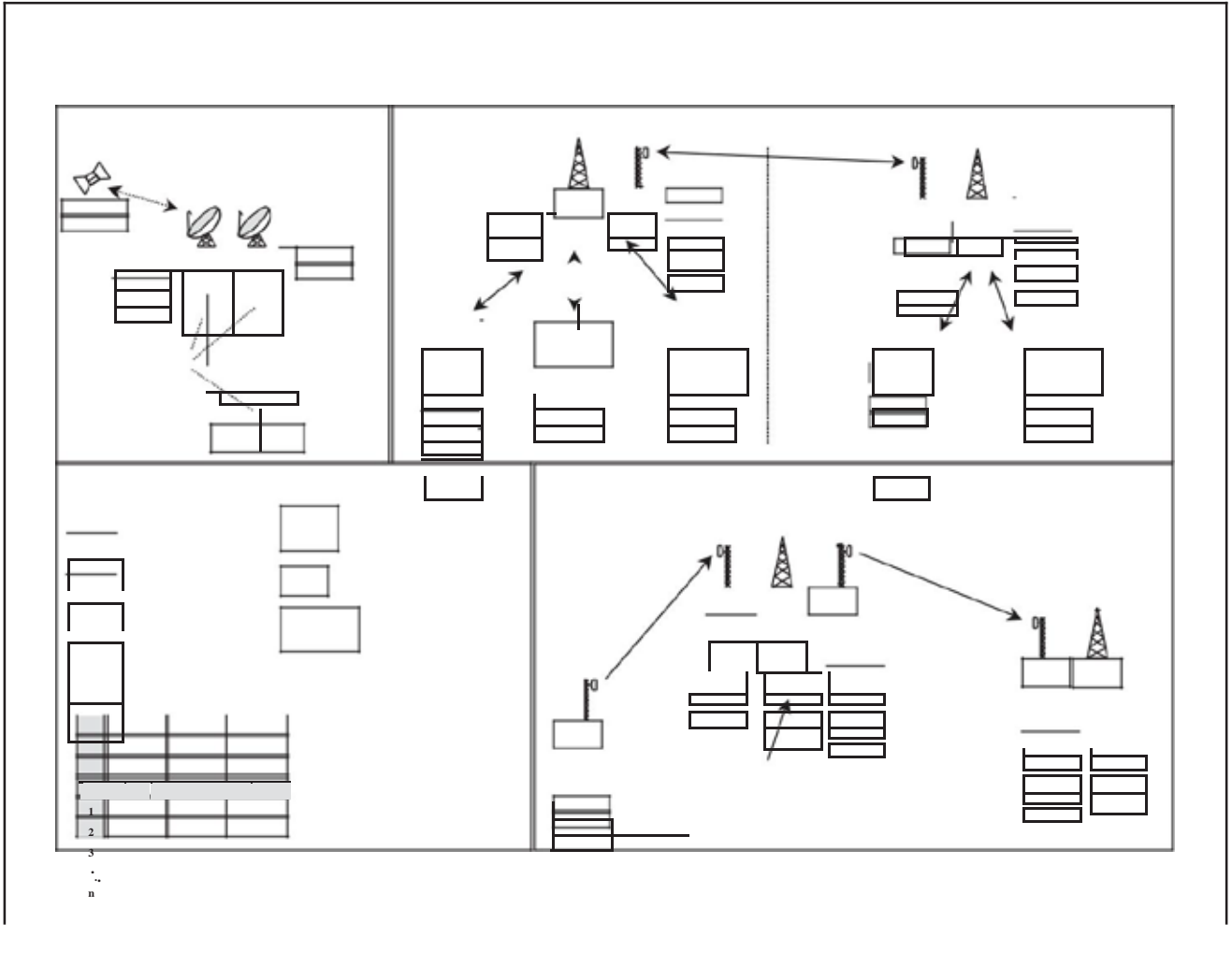
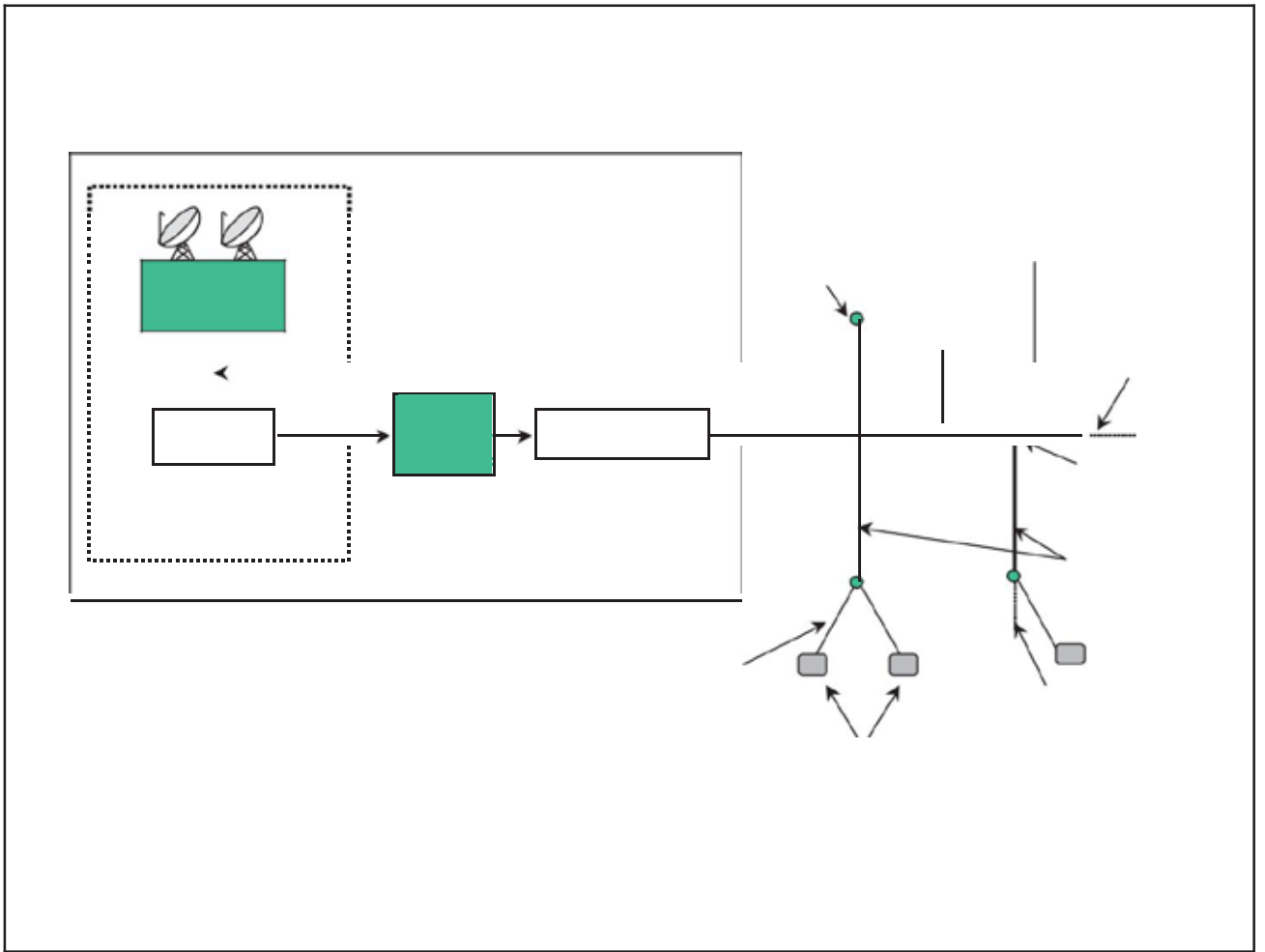


FIGURA 3  
(Véase el cuadro 1)





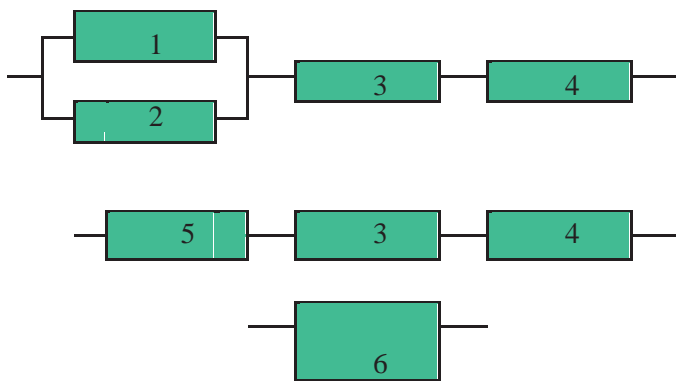
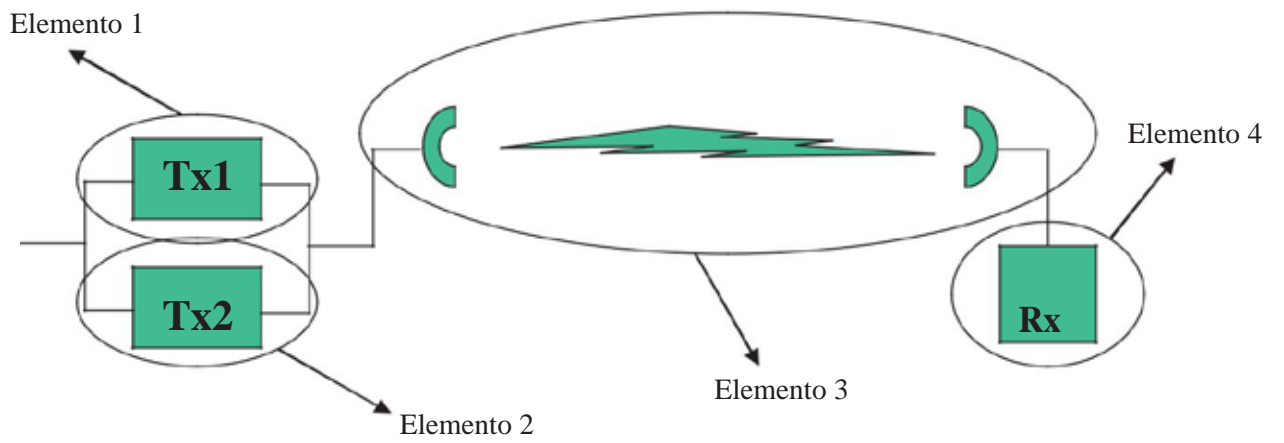
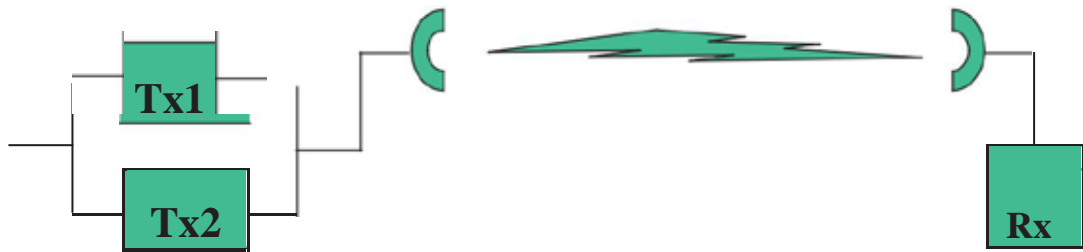












$\lambda$   
 $\lambda \quad \lambda \quad \lambda$   
 $\lambda \quad \lambda \quad \lambda \quad \lambda \quad \lambda \quad \lambda$   
 $\lambda \quad \lambda$

[Redacted Header]							
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]



•  
•  
•  
•

μ



