



**UNAPEC**  
**UNIVERSIDAD APEC**

Decanato de Ingeniería e Informática  
**Escuela de Ingeniería**

**“Propuesta de Diseño de una Red de Enlaces de Microondas para dar Conectividad de Datos a Pequeñas Comunidades de la República Dominicana. Caso: Juancho, Pedernales, 2015”**

Trabajo de Grado para Optar por el Título de:  
**Ingeniero Electrónico Mención Comunicaciones**

**Sustentante:**

Br. Luis A. Pina

2007-2336

**Asesor:**

Ing. José Mesa

Distrito Nacional  
República Dominicana  
Agosto 2015

Los conceptos expuestos en esta investigación son de la exclusiva responsabilidad de su autor.

“Propuesta de Diseño de una Red de Enlaces de Microondas para dar  
Conectividad de Datos a Pequeñas Comunidades de la República Dominicana.  
Caso: Juancho, Pedernales, 2015”

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado se plantea la propuesta de diseño de una red de enlaces de microondas para dar conectividad a pequeñas comunidades de Republica Dominicana, enfocándose en un caso particular como es la comunidad de Juancho en Pedernales, la cual tiene poco o ningún acceso a tecnologías de telecomunicaciones actuales.

Para su realización se presenta la documentación pertinente y las informaciones necesarias como base de la investigación. Todo esto mediante técnicas de investigación, observación y luego pasando a realizar los cálculos requeridos para el desarrollo de un radioenlace.

Los resultados muestran la factibilidad del radioenlace al cumplir con todos los requerimientos y condiciones para este tipo de red de microondas, comprobando los resultados y su apropiado funcionamiento mediante un software especializado de simulación.

Por último se presenta un presupuesto estimado de los equipos recomendados para implementar dicho radioenlace, así como recomendaciones para el desarrollo exitoso de este proyecto y su futura implementación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su apoyo incondicional, por la confianza brindada en todo momento y por ser el mejor ejemplo para mí.

A mis hermanos Luis Rafael Pina, Joanna Pina y Lorraine Pina.

A mis amigos y compañeros.

**Luis A. Pina**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por todo lo que han hecho para llevarme por el camino correcto y para proveer la mejor formación posible.

A mis compañeros de estudio.

A los profesores y personal de apoyo de Unapec.

Al Ing. José Mesa por su interés en el desarrollo de esta propuesta.

**Luis A. Pina**

# TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VI</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO I. RADIOENLACES DE MICROONDAS .....</b>	<b>15</b>
1. Comunicación .....	15
1.1. Telecomunicaciones .....	15
1.2. Comunicación por microondas.....	17
1.3. Comunicaciones inalámbricas modernas.....	18
1.4. Bandas de frecuencia .....	19
1.5. Modulación.....	20
1.6. Factor de curvatura de la tierra (K) .....	22
1.7. Trazo de perfil del terreno .....	23
1.8. Primera zona de Fresnel.....	24
1.9. Margen de despeje sobre el obstáculo .....	25

1.10.	Altura de las antenas .....	26
1.11.	Pérdidas en el espacio libre .....	27
1.12.	Atenuación por reflexión .....	28
1.13.	Ganancia de la antena .....	29
1.14.	Relación señal ruido (S/N) .....	30
1.15.	Tasa de errores.....	31
1.16.	Disponibilidad del radioenlace .....	31
1.17.	Margen de desvanecimiento .....	32
<b>CAPÍTULO II. DISEÑO DE LA RED DE RADIOENLACES DE MICROONDAS..</b>		<b>35</b>
2.	Características generales del enlace .....	35
2.1.	Cálculos del enlace de microondas.....	35
2.2.	Ubicación de las antenas .....	36
2.3.	Perfil del terreno.....	36
2.4.	Radio de la primera zona de Fresnel .....	39
2.5.	Altura de las antenas .....	41
2.6.	Pérdidas en el espacio libre .....	45
2.7.	Puntos de reflexión .....	46
2.8.	Ángulos de onda directa y reflejada.....	48
2.9.	Cálculos de las antenas .....	51
2.10.	Margen de desvanecimiento .....	54

2.11.	Resumen de cálculos.....	55
<b>CAPÍTULO 3. SIMULACION DEL DISEÑO PROPUESTO.....</b>		<b>59</b>
3.	Simulación del enlace.....	59
3.1.	Datos.....	59
3.2.	Información del terreno.....	60
3.3.	Perfil de los radioenlaces.....	62
3.4.	Presupuesto de equipos a utilizar.....	66
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>71</b>
<b>ANTEPROYECTO.....</b>		<b>I</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Bandas de frecuencias microondas .....	19
Tabla 2. Datos de ubicación.....	36
Tabla 3. Resumen de cálculos salto 1 .....	55
Tabla 4. Resumen de cálculos salto 2 .....	56
Tabla 5. Resumen de cálculos salto 3 .....	57
Tabla 6. Azimut de las antenas .....	66
Tabla 7. Presupuesto de equipos.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil para el primer salto (Santo Domingo – Manaclar).....	37
Figura 2. Perfil para el primer salto con obstáculo más alto (935m) .....	37
Figura 3. Perfil para el segundo salto (Manaclar – Sabana Buey) .....	38
Figura 4. Perfil para el segundo salto con obstáculo más alto (641m).....	38
Figura 5. Perfil para el tercer salto (Sabana Buey – Juancho).....	39
Figura 6. Perfil para el tercer salto con obstáculo más alto (155m) .....	39
Figura 7. Datos de ubicación en Xirio .....	59
Figura 8. Datos de antena en Xirio.....	60
Figura 9. Imagen satelital de primer salto .....	61
Figura 10. Imagen satelital de segundo salto.....	61
Figura 11. Imagen satelital de tercer salto .....	62
Figura 12. Perfil primer salto .....	63
Figura 13. Perfil segundo salto.....	64
Figura 14. Perfil tercer salto .....	65

# INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones han representado un gran papel en la sociedad tanto actual como en la antigua, de modo tal que uno de los principales objetivos de la humanidad es mantenerse en comunicación constante e interactiva entre sí. Los métodos modernos han permitido a la sociedad satisfacer gran parte de esta necesidad, aunque no completamente, debido al hecho que de aun muchos lugares tienen acceso limitado o nulo a las formas comunicación, ya sea por su ubicación geográfica, situación económica, cultura u otros factores.

La comunicación es un derecho mundial por lo cual los gobiernos de todos los países están en la obligación de proveerla a sus ciudadanos ya sea que vivan en la capital del país o en puntos alejados.

Según la Ley General de Telecomunicaciones, es deber del Estado fomentar el desarrollo de las telecomunicaciones para contribuir a la expansión socioeconómica de la nación. También dice que es de interés del Estado garantizar los servicios de telecomunicaciones en condiciones asequibles en todo el país y para todos los grupos sociales, conforme a los principios del servicio universal auspiciados por los organismos internacionales de que forma parte la República Dominicana.

Hoy en día aún existe una gran cantidad de comunidades que no cuentan con las facilidades de acceso a estas tecnologías, con las cuales serían

beneficiarios de una mejor calidad educativa y una promesa de un futuro profesional adecuado.

En base a esto surge la idea de realizar una propuesta para diseñar un radioenlace capaz de dar el acceso necesario a estos servicios de telecomunicaciones a estas comunidades de pocos recursos. Tomando como caso de estudio la comunidad de Juancho, localizada en la provincia de Pedernales, región sur de la Republica Dominicana.

# **CAPÍTULO I**

# **CAPÍTULO I. RADIOENLACES DE MICROONDAS**

## **1. Comunicación**

La comunicación es un campo del saber que estudia los procesos de la comunicación humana. Entre las sub-disciplinas de la comunicación incluyen teoría de la información, la comunicación intrapersonal, marketing, publicidad, propaganda, relaciones públicas, análisis del discurso, el periodismo y las telecomunicaciones.

También considera la comunicación como el intercambio de información entre los sujetos u objetos. Desde este punto de vista, la comunicación incluye temas técnicos (telecomunicaciones), la fisiología biológica (función y evolución) y sociales (el periodismo, relaciones públicas, publicidad, medios audiovisuales y de comunicación).

La comunicación humana es un proceso que implica el intercambio de información, y utiliza los sistemas simbólicos como el apoyo para este propósito. Participan en este proceso una multitud de maneras de comunicar: dos personas con un cara a cara o conversación, o por medio de gestos con las manos, los mensajes enviados usando la red mundial de telecomunicaciones, el habla, la escritura que le permiten interactuar con otras personas y hacer algún tipo de intercambio de información.

### **1.1. Telecomunicaciones**

Una telecomunicación es toda transmisión y recepción de señales de cualquier naturaleza, típicamente electromagnéticas, que contengan signos, sonidos, imágenes o, en definitiva, cualquier tipo de información que se desee comunicar a cierta distancia.

Por metonimia, también se denomina telecomunicación a la disciplina que estudia, diseña, desarrolla y explota aquellos sistemas que permiten dichas comunicaciones; de forma análoga, la ingeniería de telecomunicaciones resuelve los problemas técnicos asociados a esta disciplina.

Las telecomunicaciones son una infraestructura básica del contexto actual. La capacidad de poder comunicar cualquier orden militar o política de forma casi instantánea ha sido radical en muchos acontecimientos históricos de la Edad Contemporánea —el primer sistema de telecomunicaciones moderno aparece durante la Revolución Francesa—. Pero además, la telecomunicación constituye hoy en día un factor social y económico de gran relevancia. Así, estas tecnologías adquieren una importancia propia si valoramos su utilidad en conceptos como la globalización o la sociedad de la información y del conocimiento; que se complementa con la importancia de las mismas en cualquier tipo de actividad mercantil, financiera, bursátil o empresarial. Los medios de comunicación de masas también se valen de las telecomunicaciones para compartir contenidos al público, de gran importancia a la hora de entender el concepto de sociedad de masas.

La telecomunicación incluye muchas tecnologías como la radio, televisión, teléfono y telefonía móvil, comunicaciones de datos, redes informáticas o Internet. Gran parte de estas tecnologías, que nacieron para satisfacer necesidades militares o científicas, ha convergido en otras enfocadas a un consumo no especializado llamadas tecnologías de la información y la comunicación, de gran importancia en la vida diaria de las personas, las empresas o las instituciones estatales y políticas.

## **1.2. Comunicación por microondas**

La comunicación por microondas se refiere a la transmisión de datos o energía a través de radiofrecuencias con longitudes de onda del tipo microondas.

Se describe como microondas a aquellas ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde los 500 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 “micro” ondas. 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.

Gran parte de los sistemas de comunicación establecidos desde mediados de las década de 1980 es de naturaleza digital y como es lógico transportan información en forma digital. Sin embargo, los sistemas terrestres de radio-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.

Existe 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).

(Wikipedia, 2015)

### **1.3. Comunicaciones inalámbricas modernas**

Los términos red inalámbrica o comunicación inalámbrica son términos que se utilizan para designar la conexión de nodos sin necesidad de una conexión

física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de puertos.

Sus principales ventajas son notables en los costos, ya que se elimina el uso de cables y conexiones físicas entre nodos, pero también tiene una desventaja considerable ya que para este tipo de red se debe tener una seguridad más exigente y robusta para evitar a los intrusos.

En la actualidad moderna esta tecnología sigue creciendo aceleradamente y ha ido sustituyendo a las comunicaciones alámbricas.

#### **1.4. Bandas de frecuencia**

Con el fin de delimitar el acceso de los usuarios de radiofrecuencias internacionalmente se ha dividido todo el espectro de las mismas. La tabla debajo muestra las bandas de frecuencia utilizadas para las microondas.

Tabla 1. Bandas de frecuencias microondas

<b>Frecuencias</b>	<b>Siglas</b>	<b>Rango</b>
Muy bajas	VLF	3 - 30 KHz
Bajas LF	LF	30 - 300 KHz
Medias	MF	300 - 3000 KHz
Altas	HF	3 - 30 MHz
Muy altas	VHF	30 - 300 MHz
Ultra altas	UHF	300 - 3000 MHz
Súper altas	SHF	3 - 30 GHz
Extra altas	EHF	30 - 300 GHz

### **1.4.1. Ondas electromagnéticas y espectro electromagnético**

Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía.

Todas se propagan en el vacío a una velocidad constante, muy alta (300 000 km/s) pero no infinita. Las ondas electromagnéticas se propagan mediante una oscilación de campos eléctricos y magnéticos. Estas son también soporte de las telecomunicaciones y el funcionamiento complejo del mundo actual.

El espectro electromagnético es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo.

### **1.5. Modulación**

Se denomina modulación al proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia. Debido a este proceso la señal de alta frecuencia denominada portadora, sufrirá la modificación de alguno de sus parámetros, siendo dicha modificación proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia denominada moduladora.

A la señal resultante de este proceso se la denomina señal modulada y la misma es la señal que se transmite.

### **1.5.1. Modulación de amplitud (AM)**

Este es un caso de modulación donde tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas.

Un modulador AM es un dispositivo con dos señales de entrada, una señal portadora de amplitud y frecuencia constante, y la señal de información o moduladora. El parámetro de la señal portadora que es modificado por la señal moduladora es la amplitud.

### **1.5.2. Modulación de frecuencia (FM)**

En este caso de modulación tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas y es un tipo de modulación exponencial.

La señal modulada mantendrá fija su amplitud y el parámetro de la señal portadora que variará es la frecuencia, y lo hace de acuerdo a como varíe la amplitud de la señal moduladora.

### **1.5.3. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)**

Modulación de amplitud en cuadratura QAM (Quadrature Amplitude Modulation por sus siglas en ingles). Consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí  $90^\circ$ .

La señal modulada QAM es el resultado de sumar ambas señales ASK. Estas pueden operar por el mismo canal sin interferencia mutua porque sus portadoras al tener tal desfase, se dice que están en cuadratura. Estas dos ondas generalmente son señales sinusoidales en la cual una onda es la portadora y la otra es la señal de datos.

Esta modulación se utiliza en múltiples sistemas de transmisión de microondas, televisión, satélite, entre otros; también se utiliza en módems con velocidades superiores a los 2.4Kbps y ADSL. La ventaja de esta es que tiene un menor costo, menor consumo de energía, mayor inmunidad al ruido, mayor seguridad y provee transmisiones de mayor calidad que otros tipos de modulación.

## **1.6. Factor de curvatura de la tierra (K)**

Cuando se diseña un radioenlace de larga distancia, es necesario tener en cuenta la orografía del terreno con el fin de identificar posibles obstáculos. Para ello se representa un perfil del radioenlace, en donde se puede apreciar fácilmente aquellos elementos que se encuentran más cercanos al haz radioeléctrico (primera zona de Fresnel) o que incluso pueden llegar a obstruirlo, provocando zonas de sombra con pérdidas de señal significativas. La representación del perfil del radioenlace se realiza a partir de las curvas de nivel de los mapas topográficos de la zona, aunque resulta de gran ayuda disponer de cartografías digitales del terreno. Sin embargo resulta necesario corregir las alturas como paso previo a los cálculos de despejamiento y de pérdidas por difracción.

En un radioenlace de larga distancia el haz electromagnético se curva como consecuencia del fenómeno de refracción troposférica. La troposfera puede modelarse con un gradiente de índices de refracción que varían con la altura, debido fundamentalmente a variaciones de temperatura y de presión. Ello provoca que la trayectoria del rayo no sea rectilínea, lo que a su vez obliga a variar ligeramente el apuntamiento de las antenas en el plano vertical.

Por otro lado, tampoco se debe obviar la curvatura terrestre, y más aún en el caso de radioenlaces de grandes distancias. Resulta evidente que la curvatura de la Tierra provoca una mayor influencia de los obstáculos, hasta el punto que puede definirse un horizonte radioeléctrico por encima del cual se crea una zona de sombra.

Todos estos efectos contribuyen a una mayor o menor influencia de los obstáculos, que deberán modificar su altura real con el fin de modelarlos correctamente. Por una parte, la curvatura terrestre contribuye a aumentar la altura efectiva de los obstáculos sobre la cota imaginaria de Tierra plana. Por otro lado, el fenómeno de refracción troposférica contribuye en condiciones de atmósfera estándar ( $k = 4/3$ ) a disminuir la altura efectiva de los mismos, pues la trayectoria recorrida por el haz electromagnético suele tener una forma cóncava si la observamos desde la Tierra.

## **1.7. Trazo de perfil del terreno**

Con el fin de saber cómo influye la estructura de la superficie terrestre en la propagación de las ondas se debe trazar el perfil del terreno. Para esto se toma

una figura de corte transversal de la tierra desde el punto de transmisión hasta el punto de recepción, a la misma se le llama perfil, en el cual se toman en consideración las alturas de los puntos escogidos y los obstáculos entre uno y otro.

Estos perfiles no se elaboran con el radio real de la Tierra, sino tomando un radio de la Tierra conveniente  $K$ , cambiando de esta manera la trayectoria curva de propagación por una recta.

## **1.8. Primera zona de Fresnel**

Para modelar las pérdidas que se producen por la obstrucción del enlace radioeléctrico se utiliza el concepto de las llamadas zonas de Fresnel.

Las zonas de Fresnel son unos elipsoides concéntricos que rodean al rayo directo de un enlace radioeléctrico y que quedan definidos a partir de las posiciones de las antenas transmisora y receptora. Tienen la propiedad de que una onda que partiendo de la antena transmisora, se reflejara sobre la superficie del elipsoide y después incidiera sobre la antena receptora, habría recorrido una distancia superior a la recorrida por el rayo directo en múltiplos de media longitud de onda. Es decir, la onda reflejada se recibiría con un retardo respecto al rayo directo equivalente a un desfase múltiplo de  $180^\circ$ . Precisamente este valor del múltiplo determina el enésimo elipsoide de Fresnel.

De este modo, la primera zona de Fresnel ( $n = 1$ ) se caracteriza por el volumen interior al elipsoide con diferencia de distancias igual a una semilongitud de onda o diferencia de fases de  $180^\circ$ . Luego posibles reflexiones cerca del borde

de la primera zona de Fresnel pueden causar atenuación, ya que la onda reflejada llegaría a la antena receptora en oposición de fase. Por lo tanto, durante la fase de planificación del radioenlace debe asegurarse que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos, bien aumentando la altura de los mástiles de las antenas o bien situándolos en otra posición del edificio. Evidentemente, una obstrucción completa de la zona de Fresnel produciría pérdidas todavía mayores.

Este valor se obtiene con:

$$R_f = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}}$$

Donde:

$R_f$  es el radio de la primera zona de Fresnel

$\lambda$  es la longitud de onda en metros

$d_1$  es la distancia del transmisor al mayor obstáculo

$d_2$  es la distancia del obstáculo al receptor

$d$  es la distancia total del enlace

## **1.9. Margen de despeje sobre el obstáculo**

En el perfil del radioenlace y su propagación de ondas debe hacerse un despeje exacto entre la línea central del trayecto y la arista del cualquier obstáculo. Este valor se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{h_c}{k^{4/3}} = h_1 - \frac{d_1}{d}(h_1 - h_2) - \frac{d_1 d_2}{2Ka} - h_0$$

Donde:

$h_1$  y  $h_2$  son las alturas de las antenas para cada sitio en metros

$h_0$  es la altura del obstáculo

$d_1$  es la distancia del transmisor al mayor obstáculo

$d_2$  es la distancia del obstáculo al receptor

$d$  es la distancia total del enlace

Cuando la visibilidad directa o la primera zona de Fresnel esta interrumpida por la arista de un obstáculo, la perdida de esta arista será sumada a la perdida de propagación de espacio libre.

### 1.10. Altura de las antenas

Para encontrar el valor de la altura de las antenas es necesario haber calculado el radio de la primera zona de Fresnel y se requiere proponer la altura de la antena en el primer lugar. Mediante una ecuación se determina la altura de las antenas repetidoras hasta llegar a la receptora final. Utilizando la siguiente ecuación se determinan dichas alturas:

$$\frac{h_2}{k^{4/3}} = \frac{d}{d_1}(Rf + h_0) - \frac{d_2}{d_1}(h_1) + \frac{d d_2}{2Ka}$$

Donde:

$R_f$  es el radio de la primera zona de Fresnel

$h_0$  es la altura del mayor obstáculo

$d_1$  es la distancia del trayecto al extremo cercano (Km)

$d_2$  es la distancia del trayecto al extremo lejano (Km)

$d$  es la distancia total del trayecto (Km)

$K_a$  equivale a  $(4/3) \times (6.37 \times 10^6 \text{m})$

Para condiciones severas se utiliza la siguiente ecuación:

$$k_{2/3} = k_{4/3} - \frac{d}{3d_1} (R_f) + \frac{dd_2}{2K_a}$$

### 1.11. Pérdidas en el espacio libre

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. Esta energía no se pierde, tan solo 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. La ecuación que define a la pérdida en trayectoria por el espacio libre es:

$$L_0 = 20 \log \frac{4\pi D}{\lambda}$$

Donde:

$L_0$  es la perdida en trayectoria por el espacio libre

$D$  es la distancia en m

$\lambda$  es la longitud de onda en metros

(Tomasi)

## 1.12. Atenuación por reflexión

La reflexión de las ondas electromagnéticas ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera existente (un objeto) y parte de la potencia incidente no penetra el mismo. Las ondas que no penetran el objeto se reflejan. Debido a que todas las ondas reflejadas permanecen en el mismo medio que las ondas incidentes, sus velocidades son iguales y por lo tanto el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

Este fenómeno depende de las propiedades de la señal y de las propiedades físicas del objeto. Las propiedades de la señal son el ángulo incidente de llegada al objeto, la orientación y la longitud de onda ( $\lambda$ ). Las propiedades físicas del objeto en cambio son la geometría de la superficie, la textura y el material del que esté compuesto.

Las ecuaciones que definen el punto de reflexión para una transmisión son:

$$d_1 = \frac{d(\text{metros})}{2}(1 + b)$$

$$d_2 = \frac{d(\text{metros})}{2}(1 - b)$$

Donde el coeficiente  $b$  se obtiene sustituyendo los coeficientes  $c$  y  $m$  obtenidos con las siguientes ecuaciones en el monograma del Anexo A (ver anexos):

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}$$

$$m = \frac{d^2}{4Ka(h_1 + h_2)}$$

### 1.13. Ganancia de la antena

La ganancia de una antena parabólica indica la cantidad de señal captada que se concentra en el alimentador. La ganancia depende del diámetro del plato, de la exactitud geométrica del reflector y de la frecuencia de operación. Si el diámetro aumenta, la ganancia también, porque se concentra mayor energía en el foco. La exactitud geométrica está relacionada con la precisión con la que se ha fabricado el reflector de la antena parabólica. La antena debe ser parabólica de modo que exista uno y sólo un foco y que en él se debe colocar el alimentador. Cualquier desviación de la curva parabólica hará que toda la energía que llegue al reflector no se refleje en el foco, sino en un punto por delante o por detrás de éste, con lo cual perderemos energía. Lo propio para las irregularidades mecánicas en la superficie del reflector. Un golpe o abolladura presente en el plato hará que las señales reflejadas no se desvíen correctamente hacia el foco disminuyendo la energía electromagnética efectiva en el alimentador. Por otra parte, cuanto mayor sea la frecuencia, menor deberá ser el diámetro del reflector. Así, una señal para

5.8 GHz necesita un reflector de menor diámetro que otra señal en 2.4GHz. La ganancia del reflector se expresa en dB y se la define con respecto a una antena isotrópica (antena de longitud omnidireccional que se considera de ganancia unitaria); es decir, en relación a una antena que reciba exactamente lo mismo en todas direcciones.

La ecuación que define la ganancia de la antena es:

$$G = 20 \log \frac{\pi K D}{\lambda}$$

Donde:

K es la eficiencia de la antena

D es el diámetro de la antena en metros

$\lambda$  es la longitud de onda en metros

Orientación del plato parabólico

Para direccionar adecuadamente una antena se debe tomar en cuenta también el ángulo con respecto al norte geográfico a ser utilizado. Este ángulo se conoce como azimut, y el valor de este indica el punto exacto en el que se debe fijar la antena en el plano horizontal.

#### **1.14. Relación señal ruido (S/N)**

La relación señal ruido (S/N) es la diferencia entre el nivel de la señal y el nivel de ruido. Se entiende como ruido cualquier señal no deseada, en este caso,

la señal eléctrica no deseada que circula por el interior de un equipo electrónico. El ruido se mide sin ninguna señal a la entrada del equipo.

Se habla de relación señal ruido (S/N) porque el nivel de ruido es más o menos perjudicial en función de cuál sea el nivel de la señal. La S/N se calcula como la diferencia entre el nivel de la señal cuando el aparato funciona a nivel nominal de trabajo y el nivel de ruido cuando, a ese mismo nivel de trabajo, no se introduce señal. En un amplificador, cuanto más se gire el mando de potencia, más se amplificará la señal y en la misma medida se amplificará el ruido.

### **1.15. Tasa de errores**

Para determinar el desempeño de una comunicación digital se determina el número de bits que se presentan con error durante el proceso de transmisión por el número de bits total transmitidos. Esto se llama Tasa de bits erróneos o BER por sus siglas en inglés. La ecuación para determinar esto es la siguiente:

$$BER = \frac{\# \text{ bits con error}}{\# \text{ bits transmitidos}}$$

### **1.16. Disponibilidad del radioenlace**

Se conoce como disponibilidad del enlace el tiempo que el radioenlace estará operando con una Tasa de errores menor a un valor preestablecido, regularmente una tasa no mayor a 1 por cada mil bits transmitidos.

El tiempo que el enlace opere con una tasa de errores mayor a la preestablecida se denomina tiempo fuera de servicio o Outage.

El valor de la disponibilidad depende de los factores climáticos, la composición del terreno y temperatura, por otro lado, depende de los márgenes de desvanecimiento térmico.

### **1.17. 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 atmosfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la perdida 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 perdida 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 perdida adicional de transmisión a la perdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento

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 perdida.

Se puede determinar el margen de desvanecimiento mediante la siguiente ecuación:

$$MD = P_{rx} - S$$

Donde:

MD = margen de desvanecimiento en dB

$P_{rx}$  = potencia del receptor en dB

S = sensibilidad del receptor en dB

# **CAPÍTULO II**

# **CAPÍTULO II. DISEÑO DE LA RED DE RADIOENLACES DE MICROONDAS**

## **2. Características generales del enlace**

- Frecuencia de operación: 5.8GHz
- Potencia de transmisión: 25W o 43.98dBm
- Tipo de antenas: parabólicas (diámetros a ser calculados)
- Modulación: QAM

Se escogió la frecuencia de 5.8GHz sobre la de 2.4GHz para esta propuesta por varias razones. Dentro de estas tenemos que esta banda es menos congestionada, tiene una menor zona de Fresnel, lo cual es conveniente para enlaces de muy largas distancias, y existen antenas de mayores ganancias a precios moderados.

### **2.1. Cálculos del enlace de microondas**

El propósito de este capítulo es calcular y establecer todos los parámetros del enlace microondas. Los mismos deben obtenerse para cada salto del enlace. En este caso se realizara un enlace de 154Km, debido a la distancia será necesario utilizar dos repetidores.

Los siguientes son los factores principales a ser determinados para los tres segmentos:

- Ubicación de las antenas

- Perfil del terreno
- Radio de la primera zona de Fresnel
- Altura de las antenas
- Perdidas en el espacio libre
- Puntos de reflexión
- Ganancia de las antenas
- Potencia del receptor

El enlace está comprendido entre Santo Domingo y el pueblo de Juancho, Pedernales. Los repetidores de microondas estarán ubicados en las provincias de Bani y Peravia.

## 2.2. Ubicación de las antenas

La siguiente tabla contiene los datos de ubicación de las estaciones del radioenlace:

Tabla 2. Datos de ubicación

Ubicación	Longitud (W)	Latitud (N)	Elevación (m)	Distancia (Km)
Santo Domingo, D.N.	69°57'55.26"	18°30'43.19"	42	-
Manaclar, Bani	70°21'30.59"	18°23'33.57"	1049	44.3
Sabana Buey, Peravia	70°33'13.34"	18°15'39.12"	105	25.6
Juancho, Pedernales	71°15'13.08"	17°53'59.76"	210	84.2

## 2.3. Perfil del terreno

Los siguientes perfiles de terreno se obtuvieron utilizando Google Earth. Estos muestran el perfil topográfico de cada salto del radioenlace, así como su longitud total, altura de los puntos de recepción y transmisión y la altura del mayor obstáculo ubicado en cada trayecto.

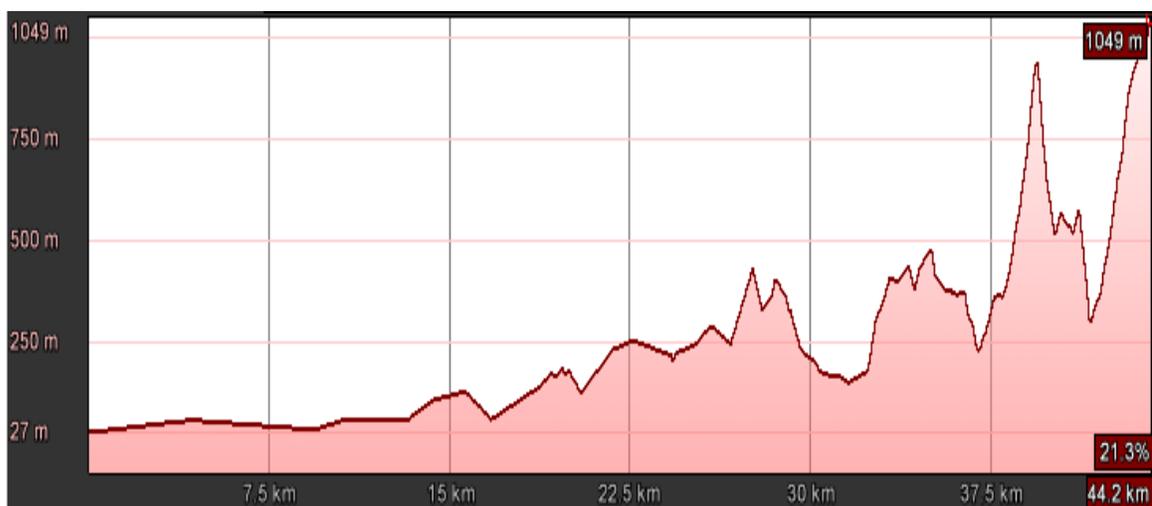


Figura 1. Perfil para el primer salto (Santo Domingo – Manaclar)

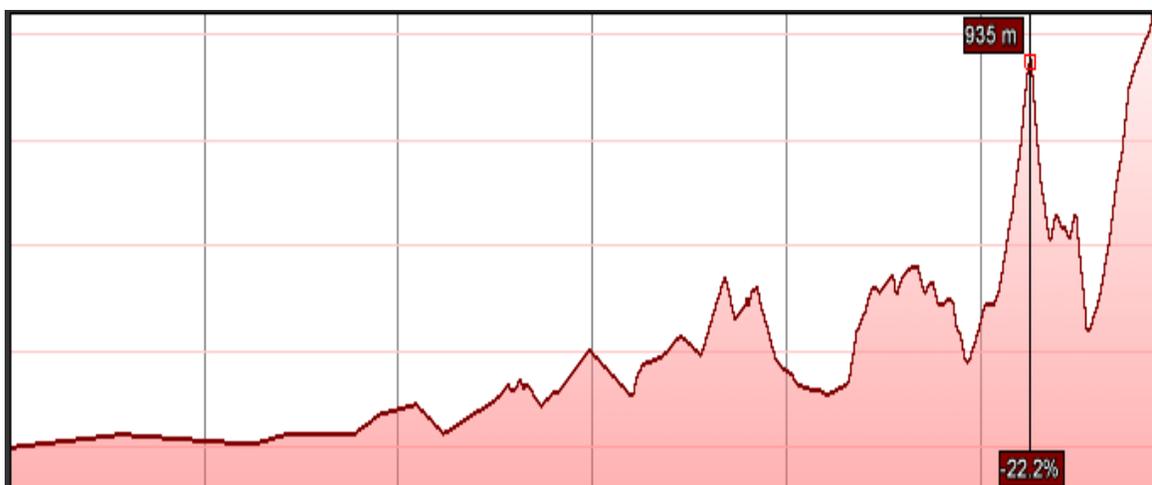


Figura 2. Perfil para el primer salto con obstáculo más alto (935m)



Figura 3. Perfil para el segundo salto (Manaclar – Sabana Buey)

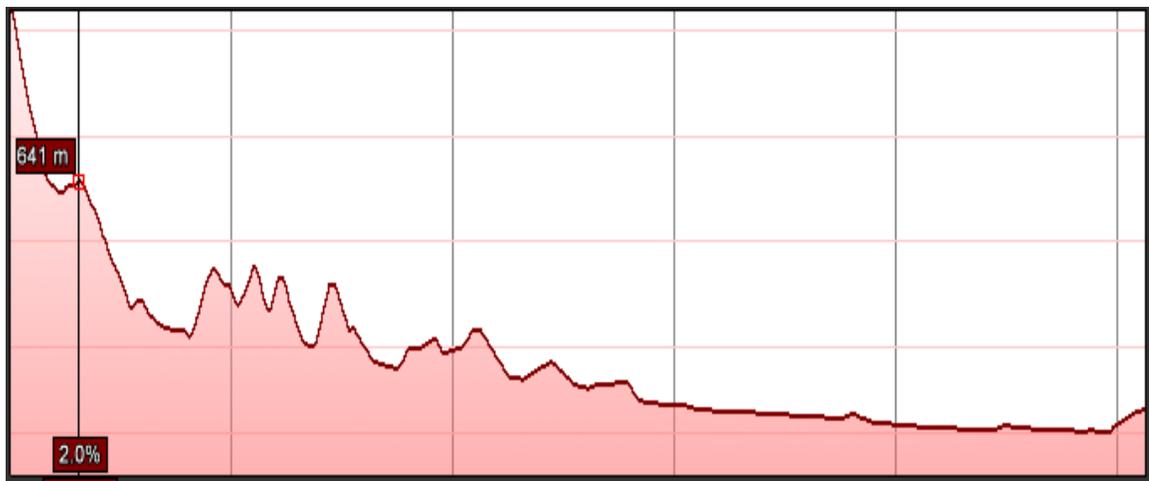


Figura 4. Perfil para el segundo salto con obstáculo más alto (641m)

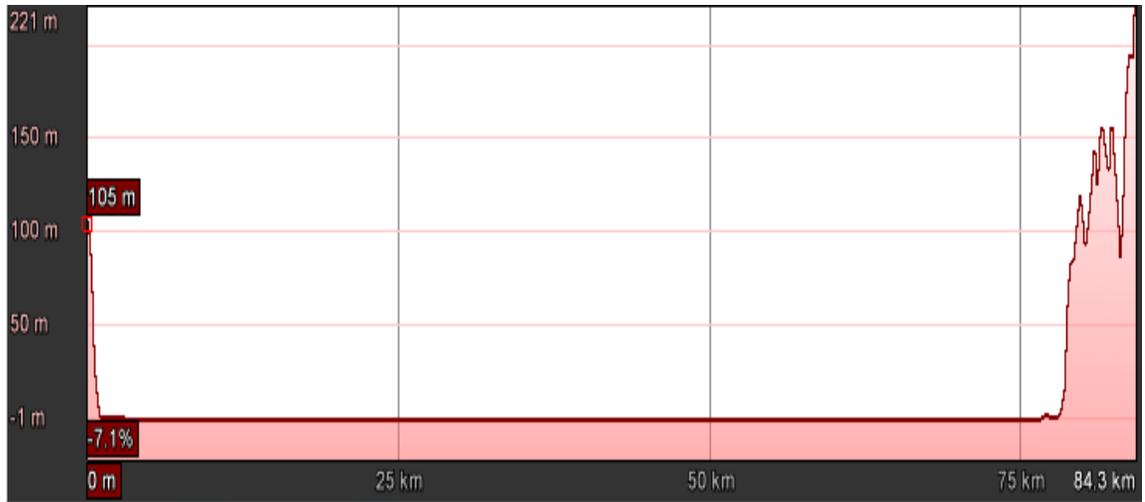


Figura 5. Perfil para el tercer salto (Sabana Buey – Juancho)

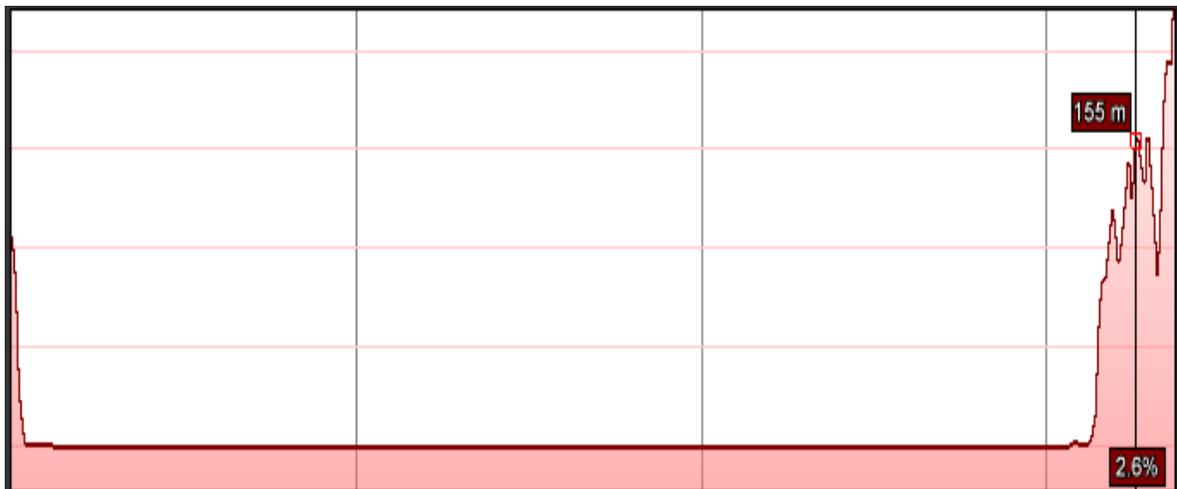


Figura 6. Perfil para el tercer salto con obstáculo más alto (155m)

## 2.4. Radio de la primera zona de Fresnel

Tomando los datos obtenidos de los perfiles trazados se puede proceder a calcular el radio de la primera zona de Fresnel para los tres saltos.

$$Rf = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Datos para el primer salto (Santo Domingo – Manaclar):

$$d = 44.3\text{Km}$$

$$d_1 = 39.5\text{Km}$$

$$d_2 = 4.8\text{Km}$$

$$f = 5.8\text{GHz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} = 0.0517$$

$$Rf = \sqrt{\frac{0.0517 \times 39.5 \times 4.8}{44.3}} = 0.47\text{m}$$

Segundo salto (Manaclar – Sabana Buey):

$$d = 25.6\text{Km}$$

$$d_1 = 24.1\text{Km}$$

$$d_2 = 1.5\text{Km}$$

$$f = 5.8\text{GHz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} = 0.0517$$

$$Rf = \sqrt{\frac{0.0517 \times 24.1 \times 1.5}{25.6}} = 0.27m$$

Tercer salto (Sabana Buey - Juancho):

$$d = 84.2Km$$

$$d_1 = 81.4Km$$

$$d_2 = 2.8Km$$

$$f = 5.8GHz$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} = 0.0517$$

$$Rf = \sqrt{\frac{0.0517 \times 81.4 \times 2.8}{84.2}} = 0.37m$$

## 2.5. Altura de las antenas

Teniendo ya el radio de la primera zona de Fresnel para cada salto, se puede proceder a calcular la altura de las antenas para cada punto mediante la siguiente ecuación:

$$h_2 = \frac{d}{d_1} (Rf + h_0) - \frac{d_2}{d_1} (h_1) + \frac{dd_2}{2Ka} \quad (Ec. 2.2)$$

Donde:

$$h_1 = \text{elevación} + \text{altura de la antena} \quad (Ec. 2.3)$$

Santo Domingo - Manaclar:

$$d = 44.3\text{Km}$$

$$d_1 = 39.5\text{Km}$$

$$d_2 = 4.8\text{Km}$$

$$Rf = 0.47\text{m}$$

$$h_0 = 935\text{m}$$

$$h_1 = 42\text{m} + 20\text{m} = 62\text{m}$$

$$Ka = (4/3) \times 6370\text{Km} = 8493\text{Km}$$

$$\frac{h_2}{k^{4/3}} = \frac{44.3}{39.5} (0.47 + 935) - \frac{4.8}{39.5} (62) + \frac{44.3 \times 4.8}{2 \times 8493} = 1054\text{m}$$

$$\frac{h_2}{k^{4/3}} = 1054\text{m}$$

$h_2$  para condiciones severas:

$$\frac{h_2}{k^{2/3}} = \frac{h_2}{k^{4/3}} - \frac{d}{3d_1} (Rf) + \frac{dd_2}{2Ka} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$\frac{h_2}{k^{2/3}} = 1054 - \frac{44.3}{3 \times 39.5} (0.47) + \frac{44.3 \times 4.8}{2 \times 8493} = 1066\text{m}$$

$$\frac{h_2}{k^{2/3}} = 1066\text{m}$$

Manaclar – Sabana Buey:

$$d = 25.6\text{Km}$$

$$d_1 = 24.1\text{Km}$$

$$d_2 = 1.5\text{Km}$$

$$R_f = 0.27\text{m}$$

$$h_0 = 641\text{m}$$

$$h_1 = 105\text{m} + 20\text{m} = 125\text{m}$$

$$K_a = (4/3) \times 6370\text{Km} = 8493\text{Km}$$

Debido a la elevación del terreno en  $h_1$  (1049m) se deben hacer los cálculos con los valores de  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $h_1$  y  $h_2$  invertidos.

Sustituyendo los datos en las ecuaciones 2.2 y 2.4:

$$\frac{h_2}{k^{4/3}} = \frac{25.6}{24.1} (0.27 + 641) - \frac{1.5}{24.1} (125) + \frac{25.6 \times 1.5}{2 \times 8493} = 676\text{m}$$

$$\frac{h_2}{k^{4/3}} = 676\text{m}$$

$h_2$  para condiciones severas:

$$\frac{h_2}{k^{2/3}} = 676 - \frac{25.6}{3 \times 24.1} (0.27) + \frac{25.6 \times 1.5}{2 \times 8493} = 678\text{m}$$

$$\frac{h_2}{k^{2/3}} = 678\text{m}$$

Inviertiendo los valores nuevamente se tienen los siguientes valores para el segundo salto que:

$$h_1 = 1049m + 20m = 1069m$$

$$h_2 = 125m$$

Sabana Buey – Juancho:

$$d = 84.2Km$$

$$d_1 = 81.4Km$$

$$d_2 = 2.8Km$$

$$R_f = 0.37m$$

$$h_0 = 155m$$

$$h_1 = 105m + 20m = 125m$$

$$K_a = (4/3) \times 6370Km = 8493Km$$

Sustituyendo los datos en las ecuaciones 2.2 y 2.4:

$$\frac{h_2}{k^{4/3}} = \frac{84.2}{81.4} (0.37 + 155) - \frac{2.8}{81.4} (125) + \frac{84.2 \times 2.8}{2 \times 8493} = 170m$$

$$\frac{h_2}{k^{4/3}} = 170m$$

$h_2$  para condiciones severas:

$$\frac{h_2}{k^{2/3}} = 170 - \frac{84.2}{3 \times 81.4} (0.37) + \frac{84.2 \times 2.8}{2 \times 8493} = 184m$$

$$h_2 = 184m$$

## 2.6. Pérdidas en el espacio libre

Sustituyendo en la ecuación 2.5 se puede obtener la pérdida en el espacio libre para los tres saltos:

$$L_0 = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (Ec. 2.5)$$

Donde:

$$\lambda = 0.0517$$

Santo Domingo – Manaclar:

$$d = 44.3\text{Km} = 44300\text{m}$$

$$L_0 = 20 \log \left( \frac{4\pi \times 44300}{0.0517} \right) = 140.6\text{dB}$$

Manaclar – Sabana Buey:

$$d = 25.6\text{Km} = 25600\text{m}$$

$$L_0 = 20 \log \left( \frac{4\pi \times 25600}{0.0517} \right) = 135.9\text{dB}$$

Sabana Buey – Juancho:

$$d = 84.2\text{Km} = 84200\text{m}$$

$$L_0 = 20 \log \left( \frac{4\pi \times 84200}{0.0517} \right) = 146.2\text{dB}$$

## 2.7. Puntos de reflexión

Para calcular el punto de reflexión en cada salto se deben obtener los coeficientes  $c$  y  $m$ , mediante el uso del Anexo A (ver anexos) se obtiene el coeficiente  $b$ .

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$m = \frac{d^2}{4Ka(h_1 + h_2)} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Con las siguientes ecuaciones se puede encontrar el punto de reflexión:

$$d_1 = \frac{d(\text{metros})}{2}(1 + b) \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$d_2 = \frac{d(\text{metros})}{2}(1 - b) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Sustituyendo las ecuaciones anteriores para cada salto se tiene:

Santo Domingo – Manaclar:

$$d = 44.3\text{Km}$$

$$h_1 = 62\text{m}$$

$$h_2 = 1069\text{m}$$

$$Ka = (4/3) \times 6370\text{Km} = 8493\text{Km}$$

$$c = \frac{62 - 1069}{62 + 1069} = -0.89$$

$$m = \frac{44.3^2}{4(8493)(62 + 1069)} = 0.0000511$$

Del monograma en el Anexo A se obtiene el valor de  $b = 0$ . Sustituyendo este valor en las ecuaciones 2.8 y 2.9:

$$d_1 = \frac{44300}{2}(1 + 0) = 22150m = 22.15Km$$

$$d_2 = \frac{44300}{2}(1 - 0) = 22150m = 22.15Km$$

Manaclar – Sabana Buey:

$$d = 25.6Km$$

$$h_1 = 1069m$$

$$h_2 = 125m$$

$$Ka = (4/3) \times 6370Km = 8493Km$$

$$c = \frac{1069 - 125}{1069 + 125} = 0.79$$

$$m = \frac{25.6^2}{4(8493)(1069 + 125)} = 0.0000162$$

Del monograma en el Anexo A se obtiene el valor de  $b = 0.8$ . Sustituyendo este valor en las ecuaciones 2.8 y 2.9:

$$d_1 = \frac{25600}{2}(1 + 0.8) = 23040m = 23.04Km$$

$$d_2 = \frac{25600}{2} (1 - 0.8) = 2560m = 2.56Km$$

Sabana Buey – Juancho:

$$d = 84.2Km$$

$$h_1 = 125m$$

$$h_2 = 230m$$

$$Ka = (4/3) \times 6370Km = 8493Km$$

$$c = \frac{125 - 230}{125 + 230} = -0.30$$

$$m = \frac{90^2}{4(8493)(125 + 30)} = 0.0005878$$

Del monograma en el Anexo A se obtiene el valor de  $b = 0$ . Sustituyendo este valor en las ecuaciones 2.8 y 2.9:

$$d_1 = \frac{90000}{2} (1 + 0) = 42100m = 42.1Km$$

$$d_2 = \frac{90000}{2} (1 - 0) = 42100m = 42.1Km$$

## 2.8. Ángulos de onda directa y reflejada

Una vez calculados los puntos de reflexión se procede a calcular los ángulos de onda directa y reflejada para cada antena. Utilizando las ecuaciones siguientes se obtienen dichos ángulos:

$$\theta_1 = \frac{h_1}{d_1} - \frac{h_1 - h_2}{d} - \frac{d_2}{2Ka} = [mRad] \quad (Ec. 2.10)$$

$$\theta_2 = \frac{h_2}{d_2} - \frac{h_2 - h_1}{d} - \frac{d_1}{2Ka} = [mRad] \quad (Ec. 2.11)$$

Santo Domingo – Manaclar:

$$d = 44.3\text{Km}$$

$$d_1 = 22.15\text{Km}$$

$$d_2 = 22.15\text{Km}$$

$$h_1 = 62\text{m}$$

$$h_2 = 1069\text{m}$$

$$\theta_1 = \frac{62}{22.15} - \frac{62 - 1069}{44.3} - \frac{22.15}{2(8493)} = 25.53\text{mRad}$$

$$\theta_2 = \frac{1069}{22.15} - \frac{1069 - 62}{44.3} - \frac{22.15}{2(8493)} = 25.53\text{mRad}$$

Convirtiendo los ángulos a grados:

$$\theta_1 = \frac{\theta_1\text{Rad} \times 180}{\Pi} = \frac{0.02553 \times 180}{\Pi} = 1.46^\circ = \theta_2$$

Manaclar – Sabana Buey:

$$d = 25.6\text{Km}$$

$$d_1 = 23.04\text{Km}$$

$$d_2 = 2.56\text{Km}$$

$$h_1 = 1069\text{m}$$

$$h_2 = 125\text{m}$$

$$\theta_1 = \frac{1069}{23.04} - \frac{1069 - 125}{25.6} - \frac{2.56}{2(8493)} = 9.52\text{mRad}$$

$$\theta_2 = \frac{125}{2.56} - \frac{125 - 1069}{25.6} - \frac{23.04}{2(8493)} = 85.70\text{mRad}$$

Convirtiendo los ángulos a grados:

$$\theta_1 = \frac{0.00952 \times 180}{\Pi} = 0.55^\circ$$

$$\theta_2 = \frac{0.08570 \times 180}{\Pi} = 4.91^\circ$$

Sabana Buey – Juancho:

$$d = 84.2\text{Km}$$

$$d_1 = 42.1\text{Km}$$

$$d_2 = 42.1\text{Km}$$

$$h_1 = 125\text{m}$$

$$h_2 = 230\text{m}$$

$$\theta_1 = \frac{125}{42.1} - \frac{125 - 230}{84.2} - \frac{42.1}{2(8493)} = 4.21\text{mRad}$$

$$\theta_2 = \frac{230}{42.1} - \frac{230 - 125}{84.2} - \frac{42.1}{2(8493)} = 4.21mRad$$

Convirtiendo los ángulos a grados:

$$\theta_1 = \frac{0.00421 \times 180}{\pi} = 0.24^\circ$$

$$\theta_2 = \frac{0.00421 \times 180}{\pi} = 0.24^\circ$$

## 2.9. Cálculos de las antenas

La ganancia de las antenas para los tres saltos del radioenlace se determina con la siguiente formula:

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_0 - A_{ltx+lr} - A_{cc} \quad (Ec. 2. 12)$$

Donde:

$P_{rx}$  = potencia del receptor

$P_{tx}$  = potencia del transmisor

$G_{tx}$  = ganancia de la antena transmisora

$G_{rx}$  = ganancia de la antena receptora

$L_0$  = pérdidas en el espacio libre

$A_{ltx}$  y  $A_{lr}$  = atenuación en las líneas de transmisión y recepción

$A_{cc}$  = atenuación en los conectores (se asume 1dB para cada salto del enlace)

Utilizando antenas de transmisión y recepción de igual especificación en cada salto se tiene que:

$$G_{tx} + G_{rx} = 2Ga$$

Por lo que:

$$P_{rx} = P_{tx} + 2Ga - L_0 - A_{ltx+lr} - A_{cc} \quad (\text{Ec. 2. 12b})$$

Para la potencia del receptor se considera que este tiene una potencia de umbral de -81dB y debe mantener un margen de desvanecimiento de 40dB, por lo que se tiene que:

$$P_{rx} = P_{um} + MD \quad (\text{Ec. 2. 13})$$

$$P_{rx} = -81 + 40$$

$$P_{rx} = -41dB$$

Para la línea de transmisión se utilizará el cable coaxial LMR-400. Para la frecuencia de 5.8GHz este tiene una atenuación de 35.5dB/100m. En cada salto del radioenlace se utilizarán 50m, resultando en una atenuación total de 17.9dB por salto.

Despejando la ecuación 2.12b se tiene que:

$$Ga = \frac{P_{rx} - P_{tx} + L_0 + A_{ltx+lr} + A_{cc}}{2} \quad (\text{Ec. 2. 14})$$

Luego de obtener la ganancia de las antenas se calcula el diámetro de las parábolas:

$$D = \frac{10^{\frac{Ga}{20}}(\lambda)}{K\pi} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Donde:

Ga = ganancia de las antenas

$\lambda$  = longitud de onda

K = eficiencia de antenas

Sustituyendo en las ecuaciones 2.14 y 2.15 para el primer salto se tiene que:

$$Ga = \frac{-41 - 43.98 + 140.6 + 17.9 + 1}{2}$$

$$Ga = 37.28dB$$

$$D = \frac{10^{\frac{37.28}{20}}(0.0517)}{0.6\pi}$$

$$D = 2m$$

Sustituyendo en las ecuaciones 2.14 y 2.15 para el segundo salto se tiene que:

$$Ga = \frac{-41 - 43.98 + 135.9 + 17.9 + 1}{2}$$

$$Ga = 34.90dB$$

$$D = \frac{10^{\frac{34.90}{20}}(0.0517)}{0.6\pi}$$

$$D = 1.5m \approx 1.8m \text{ (diametro real a ser utilizado)}$$

Sustituyendo en las ecuaciones 2.14 y 2.15 para el tercer salto se tiene que:

$$Ga = \frac{-41 - 43.98 + 146.2 + 17.9 + 1}{2}$$

$$Ga = 40.07dB$$

$$D = \frac{10^{\frac{40.07}{20}}(0.0517)}{0.6\pi}$$

$$D = 2.8m \approx 3m \text{ (diametro real a ser utilizado)}$$

## 2.10. Margen de desvanecimiento

Utilizando la ecuación 2.16 se puede calcular el margen de desvanecimiento para cada salto del radioenlace:

$$MD = P_{rx} - S \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Donde:

$$P_{rx} = -41dB$$

$$S = -94dBm$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$MD = -41 - (-94) = 53dB$$

## 2.11. Resumen de cálculos

Las tablas a continuación contienen un resumen de los resultados obtenidos en los cálculos previos:

Tabla 3. Resumen de cálculos salto 1

<b>Santo Domingo, D.N. - Manaclar, Bani</b>		
Ubicación	Santo Domingo	Manaclar
Longitud	69°57'55.26"	70°21'30.59"
Latitud	18°30'43.19"	18°23'33.57"
Longitud del salto	44.3Km	
Frecuencia	5.8GHz	
Tipo de modulación	QAM	
Elevación del terreno	42m	1049m
Altura de torre	20m	20m
Tipo de cable	LMR-400	LMR-400
Atenuación en cables	8.95dB	8.95dB
Atenuación en conectores	0.5dB	0.5dB
Atenuación en el espacio libre	140.6dB	
Atenuación total	159.5dB	
Radio de 1 <sup>era</sup> zona de Fresnel	0.47m	
Punto de reflexión	22.15Km	
Angulo de onda directa	1.46°	
Angulo de onda reflejada	1.46°	
Potencia del transmisor	43.98dB	43.98dB
Potencia en receptor	-41dB	-41dB
Margen de desvanecimiento	53dB	53dB
Ganancia de la antena	37.28dB	37.28dB
Ganancia total	74.56dB	
Diámetro de la antena	2m	2m

Tabla 4. Resumen de cálculos salto 2

<b>Manaclar, Bani - Sabana Buey, Peravia</b>		
Ubicación	Manaclar	Sabana Buey
Longitud	70°21'30.59"	70°33'13.34"
Latitud	18°23'33.57"	18°15'39.12"
Longitud del salto	25.6Km	
Frecuencia	5.8GHz	
Tipo de modulación	QAM	
Elevación del terreno	1049m	105m
Altura de torre	20m	20m
Tipo de cable	LMR-400	LMR-400
Atenuación en cables	8.95dB	8.95dB
Atenuación en conectores	0.5dB	0.5dB
Atenuación en el espacio libre	135.9dB	
Atenuación total	154.8dB	
Radio de 1 <sup>era</sup> zona de Fresnel	0.27m	
Punto de reflexión	23.04Km	
Angulo de onda directa	0.55°	
Angulo de onda reflejada	4.91°	
Potencia del transmisor	43.98dB	43.98dB
Potencia en receptor	-41dB	-41dB
Margen de desvanecimiento	53dB	53dB
Ganancia de la antena	34.9dB	34.9dB
Ganancia total	69.8dB	
Diámetro de la antena	1.8m	1.8m

Tabla 5. Resumen de cálculos salto 3

<b>Sabana Buey, Peravia - Juancho, Pedernales</b>		
	<b>Sabana Buey</b>	<b>Juancho</b>
Ubicación		
Longitud	70°33'13.34"	71°15'13.08"
Latitud	18°15'39.12"	17°53'59.76"
Longitud del salto	84.2Km	
Frecuencia	5.8GHz	
Tipo de modulación	QAM	
Elevación del terreno	105m	210m
Altura de torre	20m	20m
Tipo de cable	LMR-400	LMR-400
Atenuación en cables	8.95dB	8.95dB
Atenuación en conectores	0.5dB	0.5dB
Atenuación en el espacio libre	146.2dB	
Atenuación total	165.1dB	
Radio de 1 <sup>era</sup> zona de Fresnel	0.37m	
Punto de reflexión	42.1Km	
Angulo de onda directa	0.24°	
Angulo de onda reflejada	0.24°	
Potencia del transmisor	43.98dB	43.98dB
Potencia en receptor	-41dB	-41dB
Margen de desvanecimiento	53dB	53dB
Ganancia de la antena	42.07dB	42.07dB
Ganancia total	84.14dB	
Diámetro de la antena	3m	3m

# **CAPÍTULO III**

## CAPÍTULO 3. SIMULACION DEL DISEÑO PROPUESTO

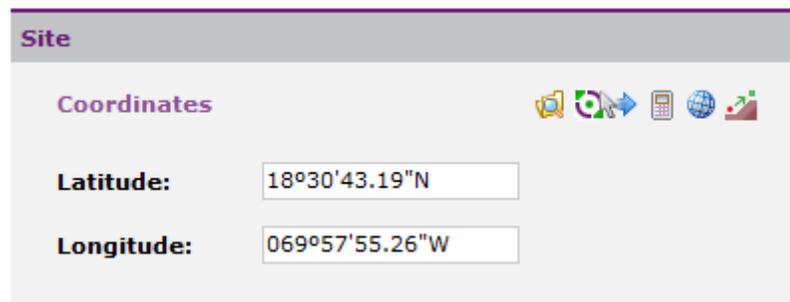
### 3. Simulación del enlace

Se pueden encontrar múltiples opciones en el mercado para simular radioenlaces, como lo son PTP Link Planner, Pathloss, Radio Mobile, entre otros.

Para la simulación de este radioenlace y sus tres saltos se utilizará Xirio Online. Este sistema tiene una herramienta en línea, de fácil acceso al usuario, con una interfaz sencilla y autodidáctica.

#### 3.1. Datos

Después de haber concluido los cálculos de todos los parámetros del enlace, mostrados en el capítulo 2, se procede a introducir estos datos en la herramienta, iniciando con las coordenadas geográficas de los puntos de transmisión y recepción, como se puede ver en la figura 7.



The image shows a screenshot of the Xirio Online interface. At the top, there is a header labeled 'Site'. Below this, the section 'Coordinates' is displayed. To the right of the 'Coordinates' label, there are several icons: a folder, a circular arrow, a mouse cursor, a calculator, a globe, and a bar chart. Below the icons, there are two input fields. The first is labeled 'Latitude:' and contains the text '18°30'43.19"N'. The second is labeled 'Longitude:' and contains the text '069°57'55.26"W'.

Figura 7. Datos de ubicación en Xirio

Luego se completan la altura de la antena, ganancia de la misma, la frecuencia a utilizar y pérdidas del enlace en dB. Ver figura 8 debajo.

**Radio parameters**

**Copolar antenna:** Punto-Punto1

**Cross-polar antenna:** XPolar Punto-Punto 5.5dB

**Transmission frequencies**

Frequencies	Channel
5800.000 MHz	1

**Polarization:** Horizontal

**Antenna height:** 20 m

**Altitude about:** rooftop level

**Azimuth:** 252.417942172872 [0,359]

**Downtilt:** -1.36630766209272 [-90,90]

**Power:** 25 W

**Losses:** 159.5 dB

The computing of quality and unavailability (UIT-R 530 Rec.), will be done with the parameter "equipment power" of each of the configured modulations in "Link parameters"

Figura 8. Datos de antena en Xirio

### 3.2. Información del terreno

La base de datos de Xirio está conectada a los mapas de Google, con la cual se obtienen imágenes satelitales del terreno y sus relieves. En las figuras 9, 10 y 11 se muestran las imágenes para cada salto.



Figura 9. Imagen satelital de primer salto



Figura 10. Imagen satelital de segundo salto

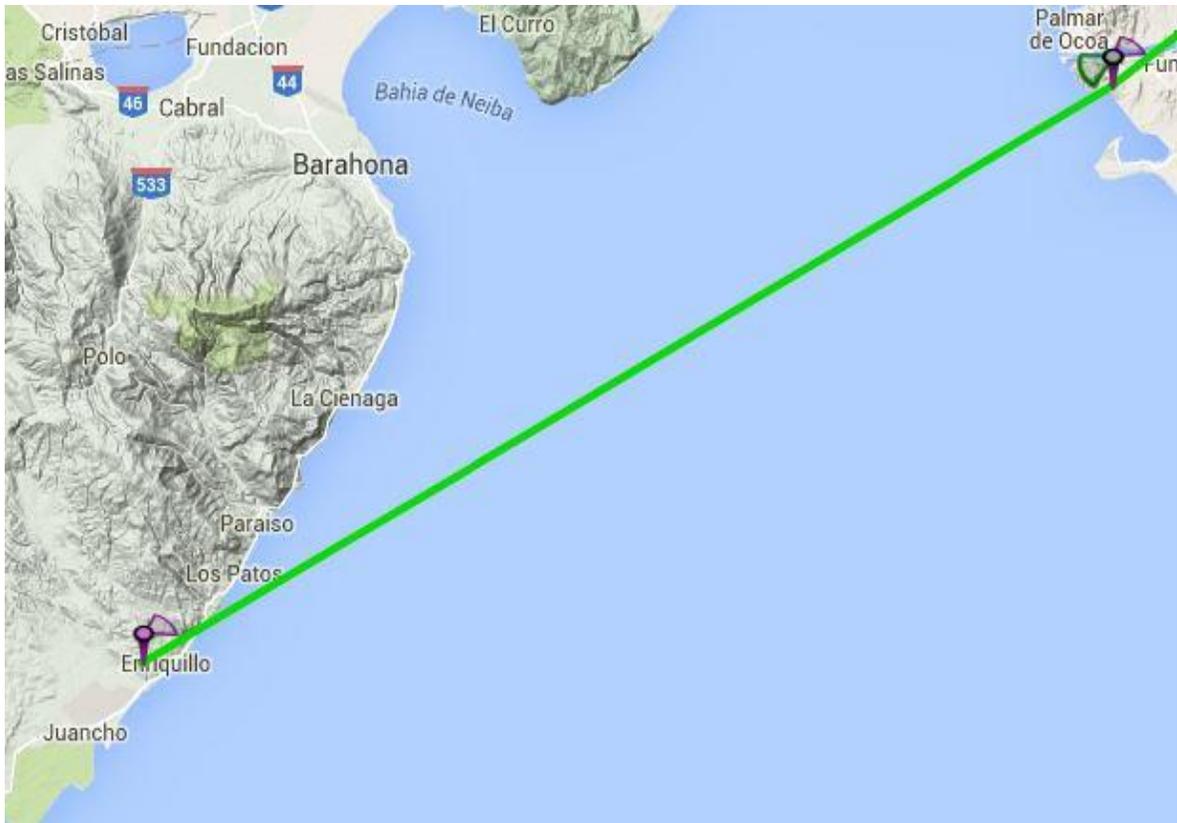


Figura 11. Imagen satelital de tercer salto

### 3.3. Perfil de los radioenlaces

Después de introducir toda la información requerida por la herramienta esta procede a generar el perfil del radioenlace.

Como se puede ver en las figuras 12, 13 y 14 estos perfiles muestran el perfil topográfico, la línea de vista de las antenas y el radio de la primera zona de Fresnel, tomando en cuenta datos como la curvatura de la tierra y la altura del terreno, datos obtenidos de su propia base de datos.

En la figura 12 se puede observar como el enlace tiene una línea de vista adecuada y el radio de la primera zona de Fresnel está totalmente despejado de los obstáculos.

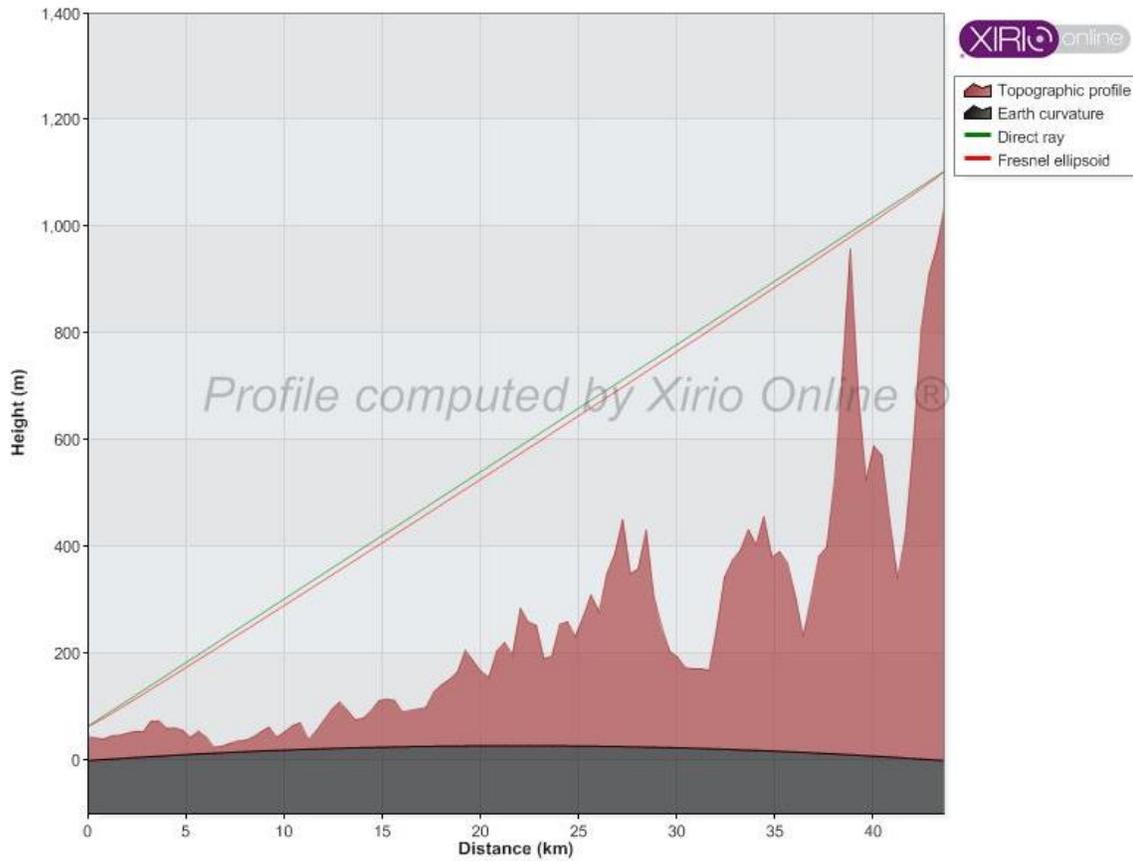


Figura 12. Perfil primer salto

Para el segundo salto, mostrado en la figura 13, se observa que también hay una buena conexión entre las antenas.

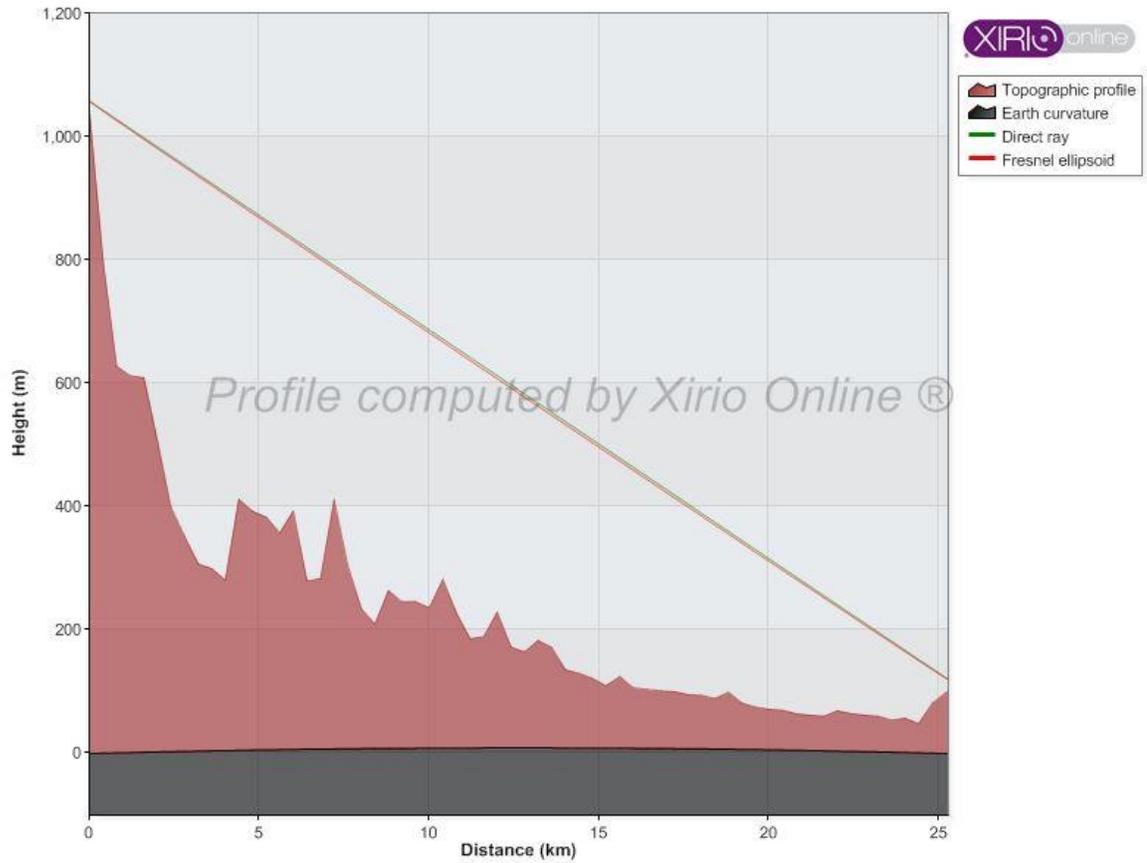


Figura 13. Perfil segundo salto

En el siguiente salto, se destaca como la curvatura de la tierra es un factor apreciable debido a la larga distancia del salto, sin embargo, el enlace tiene una buena línea de vista debido a los puntos seleccionados y las especificaciones de las antenas. Ver figura 14 debajo.

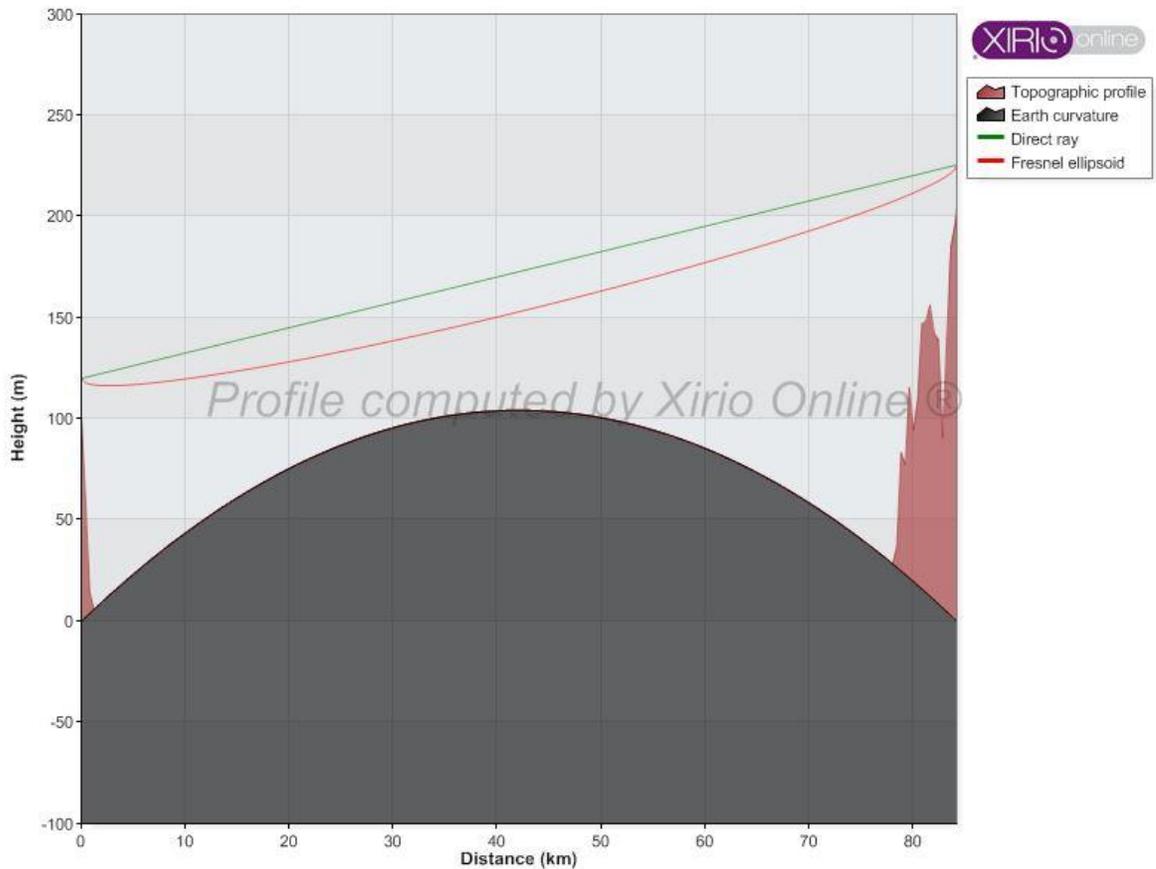


Figura 14. Perfil tercer salto

### 3.3.1. Azimut de las antenas

Con el cálculo anterior Xirio provee el ángulo con respecto al norte geográfico necesario para cada antena, el azimut. En la tabla siguiente se muestra un resumen de la información obtenida:

Tabla 6. Azimut de las antenas

<b>Ubicación</b>	<b>Azimut Tx</b>	<b>Azimut Rx</b>
Salto 1	252.4	72.3
Salto 2	234.8	54.7
Salto 3	241.8	61.6

### 3.4. Presupuesto de equipos a utilizar

Para los equipos seleccionados en esta propuesta se tomó en consideración la capacidad de los transmisores, la ganancia y tamaño de las antenas, así como el costo de cada equipo.

Tabla 7. Presupuesto de equipos

<b>Equipos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo Unid. USD</b>	<b>Costo Total USD</b>
RFS - PADX6-U57AC	2	\$3,269.00	\$6,538.00
RFS - PADX8-U57AC	2	\$6,226.00	\$12,452.00
RFS - PADX10-U57AC	2	\$7,318.00	\$14,636.00
Tx/Rx (por enlace)	3	\$4,052.00	\$12,156.00
Torres	4	\$588.00	\$2,352.00
Cable coaxial (pies)	660	\$1.10	\$726.00
<b>Total</b>			<b>\$48,860.00</b>

## CONCLUSIONES

La comunicación es una necesidad básica de todo ser humano, tanto escrita, como hablada o cualquier otro medio disponible. Hoy en día esta necesidad de comunicación se encuentra en otro nivel, esto debido a la creciente demanda de la sociedad de enviar y recibir información en el momento, sin retrasos ni inconvenientes. Es aquí donde la tecnología y los avances logrados en las telecomunicaciones juegan un papel clave.

Se puede lograr una comunicación a larga distancia a través de cables conductores, microondas, satélites, entre otros medios. Sin embargo, como se pudo observar en este estudio, el enlace de microondas es una vía sencilla en comparación a otros sistemas, debido a que solo requiere de la correcta elección de equipos y una apropiada instalación de los mismos. Con el uso del espacio aéreo para transmitir y recibir señales disminuye significativamente el uso de espacio físico y los costos de mantenimiento.

Luego de concluir correctamente los cálculos y analizando los resultados se puede observar que este enlace es factible y funcional. El cual sería capaz de llevar una señal a través de microondas a una comunidad alejada de la capital, Santo Domingo, satisfaciendo con esto la necesidad de conectividad de datos en el pueblo de Juancho, Pedernales.

## RECOMENDACIONES

En esta propuesta se desarrolló y se detalló el procedimiento de cálculos para establecer un radioenlace de microondas. Proveyendo con esto los datos necesarios a tomar en cuenta para solucionar la falta de acceso a las telecomunicaciones que aún existe en los pueblos de Republica Dominicana.

Luego de analizar los resultados se hacen recomendaciones como son:

- Promover iniciativas de desarrollo de enlaces de microondas para mejorar la comunicación de todas las comunidades de Republica Dominicana.
- Incentivar a la inversión tanto pública como privada en este tipo de proyectos. Mostrando los beneficios y recompensas de dotar al pueblo de estas tecnologías.

En cuanto al desarrollo del enlace planteado anteriormente se propone:

- Llevar la conexión directa desde el último punto a través de líneas físicas a los hogares.
- La instalación de antenas sectoriales a una frecuencia de 2.4GHz para llevar la conexión de manera inalámbrica desde el último punto hasta la comunidad.

## BIBLIOGRAFÍA

Black, U. D. (1987). *Redes de transmisión de datos y proceso distribuido*. Ed. Díaz de Santos.

Tomasi, Wayne (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Ed. Prentice Hall

Edward A. L. y David G. M. (2004) *Digital Communication*. 3era ed. Ed. Kluwer Academic Press

*Blog de Electromagnetismo*. (2012). Disponible en <http://blogdeelectromagnetismo.blogspot.com/2012/02/las-ondas-microondas.html>

Méndez, C. (2001). *Metodología de la investigación*. México: McGraw.

Pérez, E. H. (1998). *Introducción a las Telecomunicaciones*. Editorial Limusa.

Pérez, E. H. (2003). *Tecnologías y redes de transmisión de datos*. Editorial Limusa.

Torres, C. A. (2006). *Metodología de la investigación: para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación.

*Redes de Datos*. (s.f.). Disponible en [http://wikitel.info/wiki/Redes\\_de\\_datos](http://wikitel.info/wiki/Redes_de_datos)

*Historia de la Comunicación*. (2008). Obtenido de <http://www.historiadelacomunicacion.com/>

*Microwave Link Networks.* (2015). Disponible en [http://ethw.org/Microwave Link Networks](http://ethw.org/Microwave_Link_Networks)

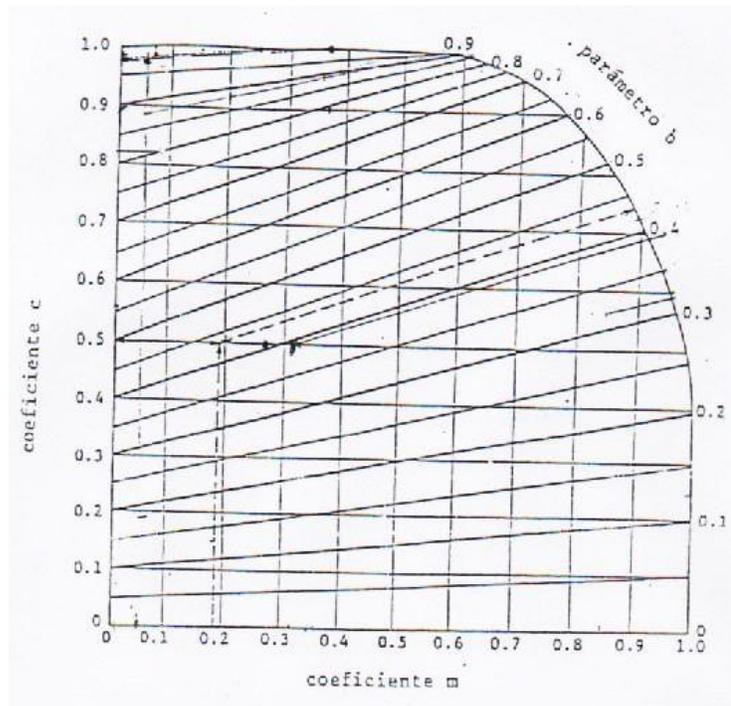
*Modulación de señales.* (2008). Disponible en <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion>

*Corrección de altura de los obstáculos.* (2011). Disponible en <http://www.radioenlaces.es/>

*Guías de Ondas.* (2012). Disponible en <http://guiasdeonda-sanchez.blogspot.com/2012/12/reflexion-de-una-onda-electromagnetica.html>

*Cálculo de ganancia de antenas parabólicas.* (2013). Disponible en [http://es.wikibooks.org/wiki/C%C3%A1lculo de ganancia de antenas parab%C3%B3licas](http://es.wikibooks.org/wiki/C%C3%A1lculo_de_ganancia_de_antenas_parab%C3%B3licas)

# **ANEXOS**



Anexo A. Monograma para calcular parámetro b



## LMR<sup>®</sup>-400 Flexible Low Loss Communications Coax

### Ideal for...

- Drop-in replacement for RG-8/9913 Air-Dielectric type Cable
- Jumper Assemblies in Wireless Communications Systems
- Short Antenna Feeder runs
- Any application (e.g. WLL, GPS, LMR, WLAN, WISP, WiMax, SCADA, Mobile Antennas) requiring an easily routed, low loss RF cable
- **NEW!** Times Protect<sup>®</sup> LP-18-400 protector-series



• **LMR<sup>®</sup> standard** is a UV Resistant Polyethylene jacketed cable designed for 20-year service outdoor use. The bending and handling characteristics are significantly better than air-dielectric and corrugated hard-line cables.

• **LMR<sup>®</sup>-DB** is identical to standard LMR plus has the advantage of being watertight. The addition of waterproofing compound in and around the foil/braid insures continuous reliable service should the jacket be inadvertently damaged during installation or in the future.

• **LMR<sup>®</sup>-FR** is a non-halogen (non-toxic), low smoke, fire retardant cable designed for in-building runs that can be routed anywhere except air handling plenums. LMR-FR is UL/NEC & CSA rated 'CMR' and 'FT4' respectively, meets FAA FAR25 requirements and is MSHA-P for mining applications.

• **LMR<sup>®</sup>-FR-PVC** is a general-purpose indoor cable and has a UL/NEC & CSA rating of 'CMR' and 'FT4' respectively. It is less expensive than LMR-FR, however it emits toxic fumes (HCL) and greater smoke density when burned.

• **LMR<sup>®</sup>-PVC** is designed for low loss general-purpose applications and is somewhat more flexible than the standard polyethylene jacketed LMR.

• **LMR<sup>®</sup>-PVC-W** is a white-jacketed version of LMR-PVC for marine and other applications where color compatibility is desired.

• **Flexibility** and bendability are hallmarks of the LMR-400 cable design. The flexible outer conductor enables the tightest bend radius available for any cable of similar size and performance.

• **Low Loss** is another hallmark feature of LMR-400.

Size for size LMR has the lowest loss of any flexible cable and comparable loss to semirigid hard-line cables.

• **RF Shielding** is 50 dB greater than typical single shielded coax (40 dB). The multi-ply bonded foil outer conductor is rated conservatively at > 90 dB (i.e. >180 dB between two adjacent cables).

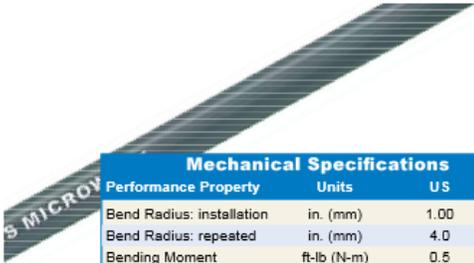
• **Weatherability:** LMR-400 cables designed for outdoor exposure incorporate the best materials for UV resistance and have life expectancy in excess of 20 years.

• **Connectors:** A wide variety of connectors are available for LMR-400 cable, including all common interface types, reverse polarity, and a choice of solder or non-solder center pins. Most LMR connectors employ crimp outer attachment using standard hex crimp sizes.

• **Cable Assemblies:** All LMR-400 cable types are available as pre-terminated cable assemblies. Refer to the section on FlexTech for further details.

Part Description					
Part Number	Application	Jacket	Color	Stock Code	
LMR-400	Outdoor	PE	Black	54001	
LMR-400-DB	Outdoor/Watertight	PE	Black	54091	
LMR-400-FR	Indoor/Outdoor Riser	CMR	FRPE	Black	54030
LMR-400-FR-PVC	Indoor/Outdoor Riser	CMR	FRPVC	Black	54073
LMR-400-PVC	General Purpose	PVC	Black	54218	
LMR-400-PVC-W	General Purpose	PVC	White	54204	

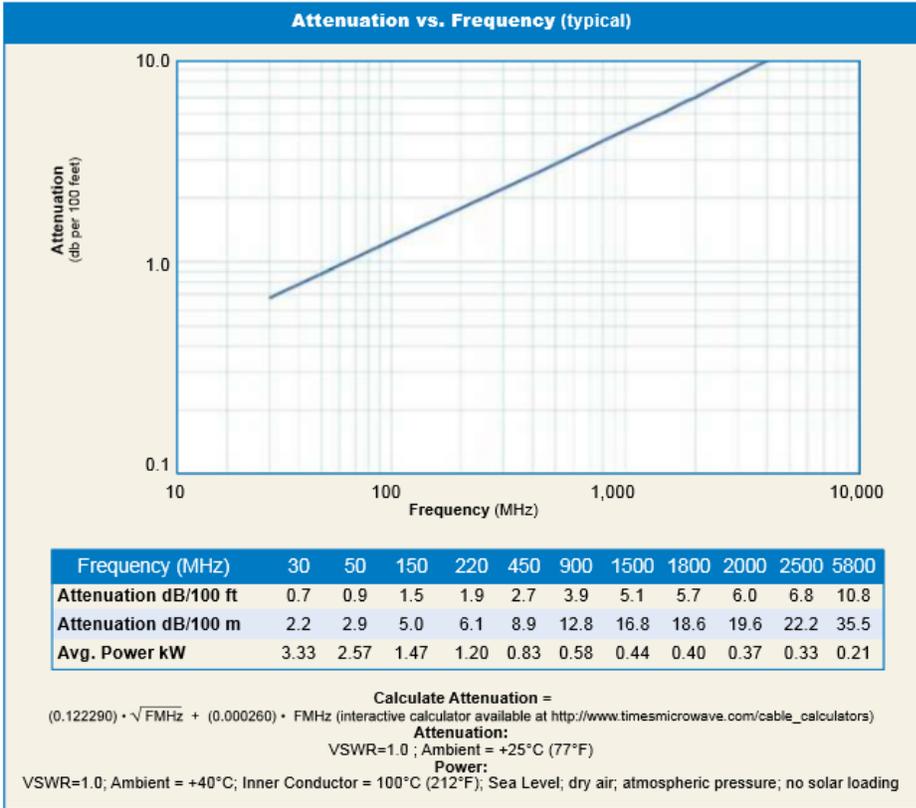
Construction Specifications			
Description	Material	In.	(mm)
Inner Conductor	Solid BCCA1	0.108	(2.74)
Dielectric	Foam PE	0.285	(7.24)
Outer Conductor	Aluminum Tape	0.291	(7.39)
Overall Braid	Tinned Copper	0.320	(8.13)
Jacket	(see table above)	0.405	(10.29)



Mechanical Specifications			
Performance Property	Units	US	(metric)
Bend Radius: installation	in. (mm)	1.00	(25.4)
Bend Radius: repeated	in. (mm)	4.0	(101.6)
Bending Moment	ft-lb (N-m)	0.5	(0.68)
Weight	lb/ft (kg/m)	0.088	(0.10)
Tensile Strength	lb (kg)	160	(72.6)
Flat Plate Crush	lb/in. (kg/mm)	40	(0.71)

Environmental Specifications			
Performance Property	'F	'C	
Installation Temperature Range	-40/+185	-40/+85	
Storage Temperature Range	-94/+185	-70/+85	
Operating Temperature Range	-40/+185	-40/+85	

Electrical Specifications			
Performance Property	Units	US	(metric)
Velocity of Propagation	%	85	
Dielectric Constant	NA	1.38	
Time Delay	nS/ft (nS/m)	1.20	(3.92)
Impedance	ohms	50	
Capacitance	pF/ft (pF/m)	23.9	(78.4)
Inductance	uH/ft (uH/m)	0.080	(0.20)
Shielding Effectiveness	dB	>90	
DC Resistance			
Inner Conductor	ohms/1000ft (/km)	1.39	(4.6)
Outer Conductor	ohms/1000ft (/km)	1.85	(5.4)
Voltage Withstand	Volts DC	2500	
Jacket Spark	Volts RMS	8000	
Peak Power	kW	18	





TrunkLine Antenna, Standard (FCC 101, Cat A) , Dual Polarized, 6 ft

**Product Description**

(Only available in North America)

RFS Microwave Antennas are designed for microwave systems in all common frequency ranges from 4 GHz to 24 GHz. Different options of survival windspeeds are available. This allows the use of antennas in areas where extreme wind conditions are normal. The antennas utilise a conventional feed system and are available in three performance classes offering complete flexibility when designing a network. Standard Performance antennas are economical solutions for systems where side lobe suppression is of less importance. These antennas are required for use in networks where there is a low interference potential. Antennas are available in 2 ft (0.6m) to 12 ft (3.7m) diameters. Antennas from 4ft up to 12 ft (3.7m) can be equipped with a moulded radome to reduce wind load and to protect the feed against the accumulation of ice and snow.



Antenna

**Features/Benefits**

- Field-proven reliability and long life
- Support for winds up to 200 km/h (125 mph) with high-wind versions that support winds up to 252 km/h (155 mph) and an optional sway bar for added assurance in case mistakes are made during installation
- A single-piece configuration and compact packaging to reduce transportation costs
- Frequencies ranging from 4 GHz to 15 GHz with support for two wideband frequency ranges (5.725-6.875 and 7.125-8.5 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics

**Technical Features**

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	5.725 - 7.125
Diameter, ft (m)	6 (1.8)
Profile	TrunkLine
Reflector	1-part
Swaybar	1: (2.0 m x Ø60 mm)
optional Swaybar	1: SMA-SK-60-2000A (2.0 m x Ø60mm)
Performance	Improved Performance
Polarization	Dual
Regulatory Compliance	FCC Category A
3dB beamwidth, (degrees)	1.7
Antenna Input	CPR137G
Low Band Gain, dBi	37.9
Mid Band Gain, dBi	38.9
High Band Gain, dBi	39.8
F/B Ratio, dB	55
XPd, dB	30
IPI, dB	35
Max VSWR / R L, dB	1.15 ( 23.1 ) @5.925 - 7.125 GHz, 1.5 ( 14 ) @5.725 - 5.85 GHz
Elevation Adjustment, degrees	± 5
Azimuth Adjustment, degrees	± 5
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Radome	Optional
Antenna color	White RAL 9010
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	114 (4.5)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	65 (141)
Survival Windspeed, km/h (mph)	200 (125)
Operational Windspeed, km/h (mph)	190 (118)
Further Accessories	SMA-WK-6A : Wind Kit, SMA-SKO-UNIVERSAL-L : Universal sway bar fixation kit

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

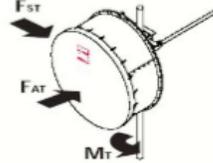
Anexo C. Datasheet de antena 1.8m



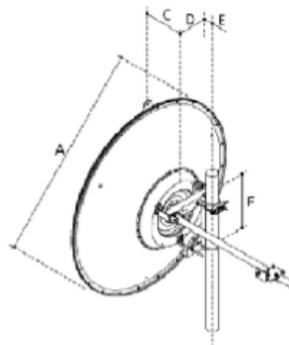
TrunkLine Antenna, Standard (FCC 101, Cat A) , Dual Polarized, 6 ft

All values @ Survival Wind Speed

F <sub>ST</sub> Side force max, N (lb)	2910 (651)
F <sub>AT</sub> Fa Axial force max, N (lb)	9900 (2217)
M Torque max., Nm (lb*ft)	3055 (2270)



Dimensions	mm (in)
ØA	2000 (79)
B	
C	364 (14.3)
D @ Mounting pipe Ø 219 (8.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 114 (4.5):	175 (6.9)
D @ Mounting pipe Ø 89 (3.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 48 (1.9):	not applicable
E	283 (11.1)
F	590 (23.2)
G	not applicable
H	not applicable



**Notes**

no notes

**Documentation**

- Complete Antenna installation
  - [RPE \(IG-Link format\)](#)
  - [RPE \(Pathloss format\)](#)
  - [RPE \(PDF format\)](#)

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering



TrunkLine Antenna, Standard (FCC 101, Cat A) , Dual Polarized, 8 ft

**Product Description**

(Only available in North America)

RFS Microwave Antennas are designed for microwave systems in all common frequency ranges from 4 GHz to 24 GHz. Different options of survival windspeeds are available. This allows the use of antennas in areas where extreme wind conditions are normal. The antennas utilise a conventional feed system and are available in three performance classes offering complete flexibility when designing a network. Standard Performance antennas are economical solutions for systems where side lobe suppression is of less importance. These antennas are required for use in networks where there is a low interference potential. Antennas are available in 2 ft (0.6m) to 12 ft (3.7m) diameters. Antennas from 4ft up to 12 ft (3.7m) can be equipped with a moulded radome to reduce wind load and to protect the feed against the accumulation of ice and snow.



Antenna

**Features/Benefits**

- Field-proven reliability and long life
- Support for winds up to 200 km/h (125 mph) with high-wind versions that support winds up to 252 km/h (155 mph) and an optional sway bar for added assurance in case mistakes are made during installation
- A single-piece configuration and compact packaging to reduce transportation costs
- Frequencies ranging from 4 GHz to 15 GHz with support for two wideband frequency ranges (5.725-6.875 and 7.125-8.5 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics

**Technical Features**

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	5.725 - 7.125
Diameter, ft (m)	8 (2.4)
Profile	TrunkLine
Reflector	1-part
Swaybar	1: (3.0 m x Ø60 mm)
optional Swaybar	1: SMA-SK-60-3000A (3.0 m x Ø60 mm)
Performance	Improved Performance
Polarization	Dual
Regulatory Compliance	FCC Category A
3dB beamwidth, (degrees)	1.3
Antenna Input	CPR137G
Low Band Gain, dBi	40.4
Mid Band Gain, dBi	41.4
High Band Gain, dBi	42.3
F/B Ratio, dB	57
XPB, dB	30
IPI, dB	35
Max VSWR / R L, dB	1.15 ( 23.1 ) @5.925 - 7.125 GHz, 1.5 ( 14 ) @5.725 - 5.85 GHz
Elevation Adjustment, degrees	± 5
Azimuth Adjustment, degrees	± 5
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Radome	Optional
Antenna color	White RAL 9010
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	114 (4.5)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	130 (285)
Survival Windspeed, km/h (mph)	200 (125)
Operational Windspeed, km/h (mph)	190 (118)
Further Accessories	SMA-WK-8 : Wind Kit, SMA-SKO-UNIVERSAL-L : Universal sway bar fixation kit

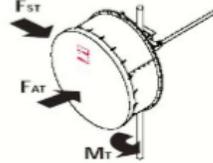
All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering



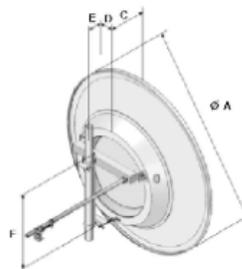
TrunkLine Antenna, Standard (FCC 101, Cat A) , Dual Polarized, 8 ft

All values @ Survival Wind Speed

F <sub>S</sub> Side force max, N (lb)	4980 (1115)
F <sub>Ax</sub> Fa Axial force max, N (lb)	16940 (3795)
M Torque max., Nm (lb*ft)	6470 (4800)



Dimensions	mm (in)
ØA	2616 (103.4)
B	
C	460 (18.1)
D @ Mounting pipe Ø 219 (8.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 114 (4.5):	190 (7.5)
D @ Mounting pipe Ø 89 (3.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 48 (1.9):	not applicable
E	310 (12.3)
F	1120 (44.1)
G	not applicable
H	not applicable



**Notes**

no notes

**Documentation**

- [Complete Antenna installation](#)
- [RPE \(IQ-Link format\)](#)
- [RPE \(Pathloss format\)](#)
- [RPE \(PDF format\)](#)

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering



TrunkLine Antenna, Standard (FCC 101, Cat A) , Dual Polarized, 10 ft

**Product Description**  
(Only available in North America)

RFS Microwave Antennas are designed for microwave systems in all common frequency ranges from 4 GHz to 24 GHz. Different options of survival windspeeds are available. This allows the use of antennas in areas where extreme wind conditions are normal. The antennas utilise a conventional feed system and are available in three performance classes offering complete flexibility when designing a network. Standard Performance antennas are economical solutions for systems where side lobe suppression is of less importance. These antennas are required for use in networks where there is a low interference potential. Antennas are available in 2 ft (0.6m) to 12 ft (3.7m) diameters. Antennas from 4ft up to 12 ft (3.7m) can be equipped with a moulded radome to reduce wind load and to protect the feed against the accumulation of ice and snow.



Antenna

**Features/Benefits**

- Field-proven reliability and long life
- Support for winds up to 200 km/h (125 mph) with high-wind versions that support winds up to 252 km/h (155 mph) and an optional sway bar for added assurance in case mistakes are made during installation
- A single-piece configuration and compact packaging to reduce transportation costs
- Frequencies ranging from 4 GHz to 15 GHz with support for two wideband frequency ranges (5.725-6.875 and 7.125-8.5 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics

**Technical Features**

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	5.725 - 7.125
Diameter, ft (m)	10 (3)
Profile	TrunkLine
Reflector	1-part
Swaybar	1: (3.0 m x Ø60 mm)
optional Swaybar	1: SMA-SK-60-3000A (3.0 m x Ø60 mm)
Performance	Improved Performance
Polarization	Dual
Regulatory Compliance	FCC Category A
3dB beamwidth, (degrees)	1.1
Antenna Input	CPR137G
Low Band Gain, dBi	42.3
Mid Band Gain, dBi	43.2
High Band Gain, dBi	44.2
F/B Ratio, dB	59
XPB, dB	30
IPI, dB	35
Max VSWR / R L, dB	1.15 ( 23.1 ) @5.925 - 7.125 GHz, 1.5 ( 14 ) @5.725 - 5.85 GHz
Elevation Adjustment, degrees	± 5
Azimuth Adjustment, degrees	± 5
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Radome	Optional
Antenna color	White RAL 9010
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	114 (4.5)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	264 (580)
Survival Windspeed, km/h (mph)	200 (125)
Operational Windspeed, km/h (mph)	190 (118)
Further Accessories	SMA-WK-10 : Wind Kit, SMA-SKO-UNIVERSAL-L : Universal sway bar fixation kit

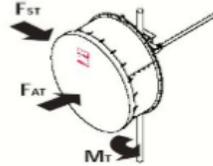
All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering



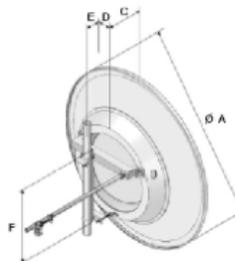
TrunkLine Antenna, Standard (FCC 101, Cat A) , Dual Polarized, 10 ft

All values @ Survival Wind Speed

F <sub>S</sub> Side force max, N (lb)	7520 (1684)
F <sub>A</sub> Fa Axial force max, N (lb)	25570 (5728)
M Torque max., Nm (lb*ft)	11260 (8400)



Dimensions	mm (in)
ØA	3170 (125.3)
B	
C	550 (21.7)
D @ Mounting pipe Ø 219 (8.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 114 (4.5):	190 (7.5)
D @ Mounting pipe Ø 89 (3.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 48 (1.9):	not applicable
E	370 (14.6)
F	1440 (56.9)
G	not applicable
H	not applicable



**Notes**

no notes

**Documentation**

<a href="#">Complete Antenna installation</a>	<a href="#">RPE (IQ-Link format)</a>
	<a href="#">RPE (Pathloss format)</a>
	<a href="#">RPE (PDF format)</a>

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering



## MOTOROLA WIRELESS BROADBAND

## PTP 54500 &amp; PTP 58500

## 5.4 and 5.8 GHz Point-to-Point Bridges

**High-Performance, Secure Wireless Ethernet Bridges**

The Motorola Point-to-Point (PTP) Wireless Ethernet Bridges – PTP 500 Series – are an excellent choice when requirements call for mid-range throughput with carrier-class performance. Operating in the 5.4 and 5.8 GHz bands at Ethernet data rates up to 105 Mbps and distances up to 155 miles (250 km), the systems are designed for virtually any environment – non-line-of-sight, long-range line-of-sight and high interference, over water and open terrain, even in severe weather conditions.

Through Motorola's unique combination of technologies, PTP 500 Series bridges deliver the bandwidth, reach, security and reliability that today's businesses and government agencies require for applications such as high-speed wireless backhaul, building-to-building and campus connectivity, leased-line replacement, backbone operations, network redundancy, Voice-over-IP, video surveillance, telemedicine, distance learning, IP gaming, disaster recovery and emergency services.

With a small footprint, the light-weight PTP 500 radios are pre-configured for fast and easy installation. Typically, systems can be deployed in one or two days. Audio and graphical alignment-assistance features help you obtain maximum signal strength and throughput with ease, while the graphical user interface enables intuitive operations.

**Motorola Wireless Broadband**

PTP 54500 and PTP 58500 bridges are included in Motorola's comprehensive portfolio of reliable and cost-effective wireless broadband solutions that, together with our WLAN solutions, provide and extend coverage both indoors and outdoors. The Motorola Wireless Broadband portfolio offers high-speed Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Mesh, Wi-Fi and WiMAX networks that support data, voice and video communications, enabling a broad range of fixed and mobile applications for public and private systems. With Motorola's innovative software solutions, customers can design, deploy and manage a broadband network, maximizing uptime and reliability while lowering installation costs.

**Motorola PTP 54500 Bridges****5.4 GHz Part Numbers**

WB2874 Integrated Link  
WB2876 Lite Integrated Link  
WB2875 Connectorized Link  
WB2877 Lite Connectorized Link

**Motorola PTP 58500 Bridges****5.8 GHz Part Numbers**

WB2857 Integrated Link  
WB2859 Lite Integrated Link  
WB2858 Connectorized Link  
WB2860 Lite Connectorized Link

**SPECIFICATION SHEET**

**Motorola 5.4 and 5.8 GHz Point-To-Point Bridges – PTP 500 Series**

Radio Technology	Remarks
RF band	5.725 GHz–5.875 GHz; 5.470 GHz–5.725 GHz <sup>1</sup>
Channel size	Configurable to 5, 10 or 15 MHz
Channel selection	By intelligent Dynamic Frequency Selection (DFS) or manual intervention; automatic selection on start-up and continual adaptation to avoid interference
Transmit power	Varies with modulation mode and settings from -18 dBm to 27 dBm
System gain	Integrated: Varies with modulation mode; up to 167 dB using 23 dBi integrated antenna <sup>2</sup> Connectorized: Varies with modulation mode and antenna type <sup>2</sup>
Receiver sensitivity	Adaptive, varying between -94 dBm and -69 dBm
Modulation	Dynamic; adapting between BPSK single and 64 QAM dual
Error correction	FEC
Duplex scheme	Symmetric Fixed TDD; same or split frequency Tx/Rx where regulations permit
Antenna	Integrated: Integrated flat plate 23 dBi / 8" Connectorized: Can operate with a selection of separately-purchased single and dual polar antennas through 2 x N-type female connectors (check local regulations prior to purchase)
Range	Up to 155 miles (250 km)
Security and encryption	Proprietary scrambling mechanism; optional FIPS-197 compliant 128/256-Bit AES Encryption. <sup>1</sup> Regulatory conditions for RF bands may vary by geographic location and should be confirmed prior to system purchase. <sup>2</sup> Gain, maximum transmit power and effective radiated power may vary based on regulatory domain.

**Ethernet Bridging & T1/E1**

Protocol	IEEE 802.3
User data throughput	Full: Dynamically variable up to 105 Mbps at the Ethernet (aggregate): 5 MHz Channel – Up to 35 Mbps 10 MHz Channel – Up to 70 Mbps 15 MHz Channel – Up to 105 Mbps Lite: Dynamically variable up to 52 Mbps at the Ethernet (aggregate): 5 MHz Channel – Up to 17 Mbps 10 MHz Channel – Up to 35 Mbps 15 MHz Channel – Up to 52 Mbps
Latency	<3 ms average each direction
QoS	802.1p (2 levels)
Interface	10 / 100 / 1000 Base T (RJ-45) – auto MDI/MDIX
T1/E1 interface	Single T1/E1 port; G703/G704, G623/G624

**Management & Installation**

LED indicators	Power status, Ethernet link status and activity
System management	Web or SNMP v1/v2c using MIBII and a proprietary PTP MIB; Motorola One Point Wireless Management Suite
Installation	Built-in audio assistance and voltage output for link optimization
Connection	Distance between outdoor unit and primary network connection: up to 330 ft. (100 meters)
Lightning protection	Built into the ODU; an external PTP Lightning Protection Unit (PTP-LPU) and device is required near the base of the tower or wall at the cable entrance point leading to the network

**Physical**

Dimensions	Integrated Outdoor Unit (ODU): Width 14.5" (370 mm), Height 14.5" (370 mm), Depth 3.75" (95 mm) Connectorized ODU: Width 12.2" (309 mm), Height 12.2" (309 mm), Depth 4.1" (105 mm) Powered Indoor Unit (PIDU Plus): Width 9.75" (250 mm), Height 1.5" (40 mm), Depth 3" (80 mm)
Weight	Integrated ODU: 11.8 lbs (5.35 kg) including bracket Connectorized ODU: 10.4 lbs (4.7 kg) including bracket PIDU Plus: 1.9 lbs (864 g)
Wind speed survival	202 mph (325 kph)
Power supply	Integrated with Indoor Unit
Power source	90–240 VAC, 50–60 Hz / 36–60V DC; redundant powering configurations supported
Power consumption	50 W max

**Environmental & Regulatory**

Operating temperature	-40°F (-40°C) to +140°F (+60°C), including solar radiation
Protection and safety	UL60950; IEC60950; EN60950; CSA-C22.2 No. 60950
Radio	5.8 GHz: USA CFR 47 Part 15.247, Canada IC RSS-210 Issue 7, Europe EN 302 502, Eire ComReg 03/42, UK IR2007 5.4 GHz: Europe EN 301 893, Canada IC RSS-210 Issue 7
EMC	USA CFR 47 Part 15 Class B, Canada CSA Std. C108.8 1993 Class B, Europe EN 55022 CISPR 22
Safety	Europe EN 301 489-4



Motorola, Inc., 1309 E. Algonquin Road, Schaumburg, Illinois 60196 U.S.A. • [www.motorola.com/ptp](http://www.motorola.com/ptp)

MOTOROLA and the Stylized M Logo are registered in the U.S. Patent and Trademark Office. All other product or service names are the property of their respective owners.  
© Motorola, Inc. 2009. All rights reserved.

GPS WB PTP 500 SS 050809



Anexo G. Modelo de torre con antena RFS

Nueva <input checked="" type="checkbox"/> Modificación <input type="checkbox"/> Cesión, Transferencia, Arrendamiento o Gravamen <input type="checkbox"/>		Numero de solicitud <input type="text"/>	
ID concesionario		Numero de Registro Empresa	
<b>DATOS DEL CONCURSANTE</b>			
Nombres <u>Luis Alberto</u>		Apellidos <u>Pina Abraham</u>	
Tipo de persona <input checked="" type="checkbox"/> Jurídica <input type="checkbox"/> Moral <input type="checkbox"/> Estatal <input type="checkbox"/> Diplomática		Especificar <u>Estudiante</u>	
Nombre Comercial de la Empresa <u>LAP</u>		RNC <u>123-45678-9</u>	
(c) Dirección <u>Carretera La Isabela 102, Arroyo Hondo</u>		Zona Postal <u>10505</u>	
(e) Provincia <u>Santo Domingo</u>		(f) Municipio <u>D.N.</u>	(g) Paraje <u>Arroyo Hondo</u>
(h) Teléfono(s) <u>829-731-9821</u>	(i) Fax <u>829-731-9821</u>	(j) Dirección de Correo Electrónico <u>Luis.pinaa@gmail.com</u>	
<b>DATOS DEL REPRESENTANTE LEGAL</b>			
Nombres <u>Luis R.</u>		Apellidos <u>Pina</u>	
Documento de Identidad Personal No. <u>001-xxxxxx-1</u>			
(d) Dirección Ave. <u>Winston Churchill 1100</u>			
e) Provincia <u>Santo Domingo</u>		(g) Municipio <u>D.N.</u>	Paraje <u>Evaristo Morales</u>
(e) Teléfono(s) <u>809-258-7581</u>	(f) Fax	(g) Dirección de Correo Electrónico <u>Lap_456@hotmail.com</u>	
4. Servicio a Suministrar			
5. Area Geográfica de Operación <u>Santo Domingo - Pedernales</u>		6. Término de Duración Solicitado <u>10</u> años.	
<b>7. CERTIFICACIÓN</b>			
Yo, _____, actuando en calidad de _____, de _____, CERTIFICO Y DOY FE de que la información provista en conexión con la presente solicitud es verdadera y completa, so pena de las sanciones previstas en las leyes de la República Dominicana.			
En _____, República Dominicana, a los _____ ( ) días del mes de _____ del año _____ ( ).			
_____ Firma del Representante Legal			
<b>PARA USO DE INDOTEL</b>			
Entregado Por:		Fecha	
Recibido Por:		ID admin.	Canon total a pagar <u>RD\$</u>
Fecha otorgamiento	Fecha vencimiento	Fecha inicio pruebas	
Número de			

INFORMACION TÉCNICA DE LA ESTACION Solicitud Número

### Anexo H. Licitación al Indotel

I. Dirección de la Estación			Nombre de la Estación
Carretera La Isabela 102, Arroyo Hondo			LAP
Provincia	Municipio	Paraje	Zona de cobertura
Santo Domingo	D.N.	Arroyo Hondo	Santo Domingo - Pedernales

2. EQUIPO TRANSMISOR

Marca /Fabricante		Modelo		Clase de Emisión		Tipo de Modulación	
Motorola		PTP 58500		F3E		16QAM	
Ajustable en frecuencia		<input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> SI		Frecuencia Superior		Frecuencia Inferior	
Cart. de homologación #		<input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> SI		5875MHz.		5725MHz.	
Clase de servicio	Clase de Estación	Potencia Entregada a la Antena	Potencia Radiada Aparente	Ancho de Banda			
Privado	C	27dBm	27dBm	150MHz.			

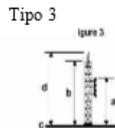
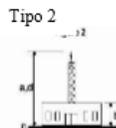
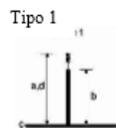
3. ANTENA

Marca /Fabricante	Modelo	tipo	Tipo de alimentador	Longitud del alimentador
RFS	PADX6-U57AC	Parabolica	Tipo N	6'
Ajustable en frecuencia	<input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> SI		Frecuencia Superior	Frecuencia Inferior
			7125MHz.	5725MHz.

Latitud	Longitud	Ganancia de la Antena	Abertura Angular Horizontal del Haz	Pérdida de Alimentación	Polarización
18 ° 31' 43 ''	69 ° 57' 55''	37.28dBi	1.46°	159.5dB	V <input checked="" type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>

Tipo de Estructura a Usar	Altura al tope de la antena (a,d)	Elevación del terreno sobre el nivel del mar. (c)	Altura de la estructura de Soporte. (b)	Altura total de la estructura (d)	Acimut de radiación máxima	USO DE INDOTEL	
						Frecuencia MHz	Ancho de Canal KHz
1 <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	62Metros	42Metros	20Metros	62Metros	252°	Canon a pagar RD \$	

4. TIPOS DE ESTRUCTURA DE SOPORTE DE ANTENA



a = Altura al tope de la antena  
b = Altura de la estructura de soporte  
c = Elevación sobre el nivel del mar  
d = Altura total de la estructura

ING. RESPONSABLE	FIRMA DEL INGENIERO	FECHA

INFORMACION TÉCNICA DEL ENLACE (Transmisor)

Solicitud Número

I. Dirección de la Estación			Nombre de la Estación
18 ° 23' 33 "N 70 ° 21' 30 "W			LAP
Provincia	Municipio	Paraje	Zona de cobertura
Peravia	Bani	Manaclar	Santo Domingo - Pedernales

2. EQUIPO TRANSMISOR

Marca /Fabricante		Modelo		Clase de Emisión		Tipo de Modulación	
Motorola		PTP 58500		F3E		16QAM	
Ajustable en frecuencia	<input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> SI	Frecuencia Superior			Frecuencia Inferior		
Cart. de homologación #	<input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> SI	5875MHz.			5725MHz.		
Clase de servicio	Clase de Estación	Potencia Entregada a la Antena	Potencia Radiada Aparente	Ancho de Banda			
Privado	B	27dBm	27dBm	150MHz			

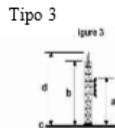
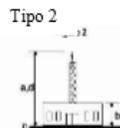
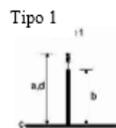
3. ANTENA

Marca /Fabricante	Modelo	tipo	Tipo de alimentador	Longitud del alimentador
RFS	PADX6-U57AC	Parabolica		6'
Ajustable en frecuencia	<input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> SI	→ → → →	Frecuencia Superior	Frecuencia Inferior
			7125MHz.	5725MHz.

Latitud	Longitud	Ganancia de la Antena	Abertura Angular Horizontal del Haz	Pérdida de Alimentación	Polarización
18 ° 23' 33"	70 ° 21' 30"	37.28dBi	1.46°	N/A dB	V <input checked="" type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>

Tipo de Estructura a Usar	Altura al tope de la antena (a,d)	Elevación del terreno sobre el nivel del mar. (c)	Altura de la estructura de Soporte. (b)	Altura total de la estructura (d)	Acimut de radiación máxima	USO DE INDOTEL	
						Frecuencia MHz	Ancho de Canal KHz
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/>	1069Metros	1049Metros	20Metros	1069Metros	72°	Canon a pagar RD \$	

5. TIPOS DE ESTRUCTURA DE SOPORTE DE ANTENA

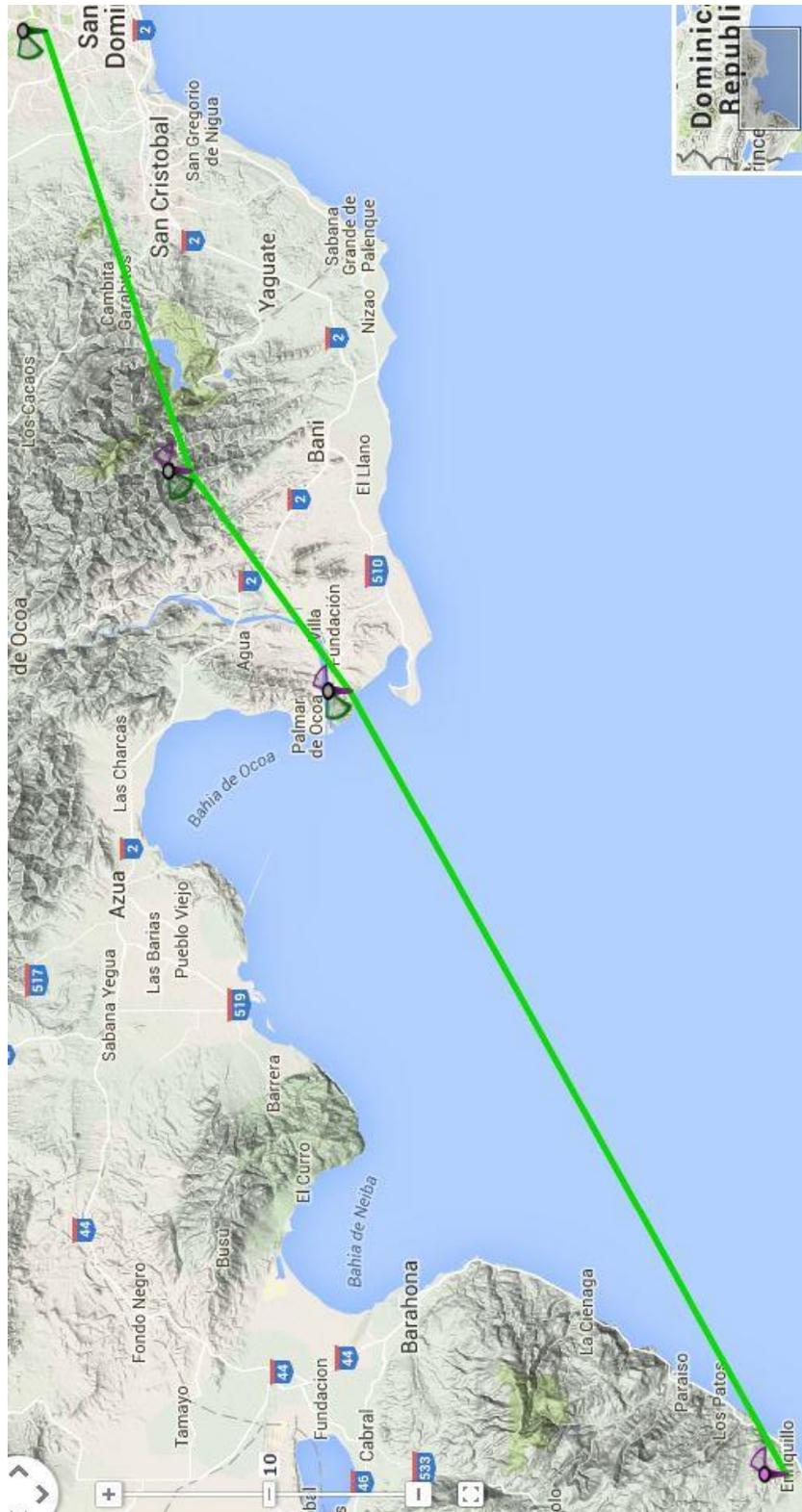


a = Altura al tope de la antena  
b = Altura de la estructura de soporte  
c = Elevación sobre el nivel del mar  
d = Altura total de la estructura

ING. RESPONSABLE	FIRMA DEL INGENIERO	FECHA

INFORMACION TÉCNICA DEL ENLACE (Receptor)

Solicitud Número



Anexo I. Imagen satelital de enlace completo



UNIVERSIDAD APEC

FORMULARIO DE SOLICITUD DE APROBACIÓN DEL TEMA DE TRABAJO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	MATRICULA	TELÉFONO*	DIRECCIÓN**
Luis Pina	2007-2336	829-731-9821	Carr. La Sabana 02, Arroyo Mangrove

\*\* Solo una dirección, especificar de cual estudiante

CARRERA: Eng. Electronica FECHA DE TÉRMINO: Ene-Abril 2015

Sometemos formalmente la terna de temas de Trabajo de Grado, el cual será presentado luego de cumplidos todos los requisitos que establecen los reglamentos de la Universidad APEC en cuanto a la carrera que hemos cursado.

TEMA	DESCRIPCIÓN GENERAL
1 Proyecto de diseño de una red de enlaces inalámbricos para dar conectividad de datos a regiones comunidades de Rep. Dom. Caso: Suando, Pedernales	Respuesta para llevar conectividad de datos a regiones comunidades y con pocos recursos, donde las redes inalámbricas actualmente no dan servicio. Contribuyendo con esto al desarrollo económico y educativo de la misma, mediante el acceso a información en línea y a vías de comunicación moderna.
2	Reglamento durante el proyecto el proceso de licitación de la frecuencia requerida por el Organismo regulador (Indotel).
3	

FECHA: Día 4 Mes 3 Año 2015

TEMA APROBADO: \_\_\_\_\_

APROBADO POR: \_\_\_\_\_ FECHA: Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_

\*No se hacen llamadas a celulares, sólo se envían mensajes. Favor de poner la compañía.

FOR-VC-0359

Anexo J. Aprobación de tema de Trabajo de Grado

**ANTEPROYECTO**



**UNAPEC**  
**UNIVERSIDAD APEC**

**Decanato de Ingeniería e Informática**  
**Ingeniería Electrónica**

**“Propuesta de diseño de una red de enlaces de microondas para dar conectividad de datos a pequeñas comunidades de la República Dominicana. Caso: Juancho, pedernales”**

Anteproyecto de Grado para optar por el título de Ingeniería  
Electrónica Mención Comunicaciones

**Sustentante:**

Luis A. Pina

2007-2336

**Santo Domingo. D.N**  
**2015**

# Índice

Titulo del tema.....	IV
Introducción.....	V
Justificación.....	VI
Delimitación del tema y planteamiento del problema .....	VIII
Objetivos .....	X
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>XI</b>
1. Estado del arte .....	XI
1.1. Telecomunicaciones .....	XI
1.2. Comunicación por microondas.....	XIII
1.3. Ondas electromagnéticas y espectro electromagnético.....	XIV
1.4. Modulación.....	XV
1.4.1. Modulación de amplitud (AM) .....	XV
1.4.2. Modulación de frecuencia (FM).....	XV
1.5. Factor de curvatura de la tierra (K) .....	XVI
1.6. Primera zona de Fresnel.....	XVII
1.7. Altura de las antenas .....	XVIII
1.8. Ganancia de la antena .....	XVIII
1.9. Relación señal ruido (S/N) .....	XIX
1.10. Marco Referencial.....	XIX
1.11. Marco Teórico .....	XX
1.12. Marco Conceptual.....	XXII
1.13. Diseño metodológico.....	XXIII
1.13.1. Tipo de estudio .....	XXIII
1.13.2. Método.....	XXIV
1.13.3. Técnicas.....	XXIV
Bibliografía .....	XXV

“Propuesta de diseño de una red de enlaces de microondas para dar conectividad de datos a pequeñas comunidades de la República Dominicana. Caso: Juancho, Pedernales.”

## **Introducción**

Las comunicaciones han representado un gran papel en la sociedad tanto actual como en la antigua, de modo tal que uno de los principales objetivos de la humanidad es mantenerse en comunicación constante e interactiva entre sí. Los métodos modernos han permitido a la sociedad satisfacer gran parte de esta necesidad, aunque no completamente, debido al hecho que de aun muchos lugares tienen acceso limitado o nulo a las formas comunicación, ya sea por su ubicación geográfica, situación económica, cultura u otros factores. La comunicación es un derecho mundial por lo cual los gobiernos de todos los países están en la obligación de proveerla a sus ciudadanos ya sea que vivan en la capital del país o en puntos alejados.

## **Justificación**

Una de las necesidades más resaltantes en la provincia de pedernales la fundamenta la escasez de recursos tecnológicos que presentan diversas comunidades de este municipio según el PNUD de Rep. Dom.

Gran cantidad de localidades de este municipio, entre éstas la comunidad de Juancho, cuentan con poco o ningún acceso a tecnologías en el ámbito de la comunicación de datos para favorecer a estos habitantes, los cuales recurren a transportarse a otras localidades para poder hacer uso de estos servicios que, en la mayoría de los casos se les imposibilita, por motivos de tiempo, transporte y economía.

La falta de acceso a estos recursos de comunicación de datos, ha limitado el área tecnológica y estudiantil de esta comunidad, dificultando el acceso a información actualizada y/o acciones de labores.

Esta propuesta además de mejorar la calidad de desarrollo tecnológico y educativo de la comunidad, contribuirá al mejoramiento del desempeño laboral y productivo, puesto que los habitantes de la localidad tendrán mejores disposiciones en visión de crecimiento local en comparación con las demás localidades tanto de Pedernales, como del país.

Es por esto que a través de este estudio se pretende mejorar el crecimiento educativo, social y tecnológico de la localidad de Juancho, Pedernales, haciendo

más factible y económica la utilización de la comunicación de datos desde de su propia comunidad.

## **Delimitación del tema y planteamiento del problema**

### **Delimitación en tiempo y espacio**

El estudio se realizará en la zona de Juancho, Pedernales. Se estima un tiempo de un año para la implementación del proyecto debido a las condiciones que presenta esta obra como son:

- Las condiciones climáticas
- El estudio de las locaciones indicadas para la colocación de los equipos
- Instalación precisa de los equipos
- La necesidad de realizar el trabajo al menor costo posible
- El tiempo de espera de la llegada de los equipos a la comunidad para ser instalados
- La prueba de los equipos
- Otros factores que pueden ser agregados durante el estudio o puesta en funcionamiento

### **Planteamiento del problema**

La República Dominicana, un país en vía de desarrollo (según los clasifican los economistas), tiene la obligación gubernamental de proveer comunicación a sus residentes, pese a que los recursos destinados a esta labor son insuficientes. La república dominicana es un país con 10,280,000 habitantes según censo realizado en 2013, posee una superficie terrestre de 48,442Km<sup>2</sup> dividido en 32 provincias, de las cuales los principales polos poblacionales y por ende

desarrollados tecnológicamente son Santo Domingo (capital del país) y Santiago. Mientras que muchas de las otras provincias tienen numerosas locaciones alejadas en las cuales las comunicaciones son limitadas y por periodos de tiempo inexistentes debido a los males climáticos o por la falta de mantenimiento formal para las tecnologías implementadas.

Establecer conectividad de datos en regiones como la comunidad Juancho que es una comunidad ubicada al Sur de Pedernales, parte del país con una población 3,752 habitantes, es necesario para la sociedad dominicana debido que los residentes de esta zona al igual que el resto del país tienen el derecho a la comunicación y mantenerse en contacto con lo que ocurre en su entorno. Debido a la falta de medios, dichas personas deben salir de sus sectores con la finalidad de encontrar locaciones más propicias para comunicar datos importantes y conectarse con el resto de la población y el mundo.

# Objetivos

## General

Diseñar una red de enlaces de microondas para dar conectividad de datos a pequeñas comunidades de la República Dominicana.

## Específicos

- Definir las áreas adecuadas para la implementación de los enlaces
- Estudiar el impacto económico del proyecto en la comunidad de Juancho
- Determinar la factibilidad del proyecto para extrapolar a otras comunidades en iguales condiciones
- Determinar posibles costos de implementación del proyecto
- Determinar las zonas de ubicación de las antenas de comunicación
- Determinar la tecnología a utilizar para implementación del enlace de comunicación
- Determinar los equipos, materiales y elementos necesarios para el proceso de instalación del sistema
- Definir las entidades que se encargaran del mantenimiento de los enlaces
- Definir áreas de personal a utilizar para instalación del sistema de comunicación

# **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO**

## **1. Estado del arte**

La comunicación es un campo del saber que estudia los procesos de la comunicación humana. Entre las sub-disciplinas de la comunicación incluyen teoría de la información, la comunicación intrapersonal, marketing, publicidad, propaganda, relaciones públicas, análisis del discurso, el periodismo y las telecomunicaciones.

También considera la comunicación como el intercambio de información entre los sujetos u objetos. Desde este punto de vista, la comunicación incluye temas técnicos (telecomunicaciones), la fisiología biológica (función y evolución) y sociales (el periodismo, relaciones públicas, publicidad, medios audiovisuales y de comunicación).

La comunicación humana es un proceso que implica el intercambio de información, y utiliza los sistemas simbólicos como el apoyo para este propósito. Participan en este proceso una multitud de maneras de comunicar: dos personas con un cara a cara o conversación, o por medio de gestos con las manos, los mensajes enviados usando la red mundial de telecomunicaciones, el habla, la escritura que le permiten interactuar con otras personas y hacer algún tipo de intercambio de información.

### **1.1. Telecomunicaciones**

Una telecomunicación es toda transmisión y recepción de señales de cualquier naturaleza, típicamente electromagnéticas, que contengan signos, sonidos, imágenes o, en definitiva, cualquier tipo de información que se desee comunicar a cierta distancia.

Por metonimia, también se denomina telecomunicación a la disciplina que estudia, diseña, desarrolla y explota aquellos sistemas que permiten dichas comunicaciones; de forma análoga, la ingeniería de telecomunicaciones resuelve los problemas técnicos asociados a esta disciplina.

Las telecomunicaciones son una infraestructura básica del contexto actual. La capacidad de poder comunicar cualquier orden militar o política de forma casi instantánea ha sido radical en muchos acontecimientos históricos de la Edad Contemporánea —el primer sistema de telecomunicaciones moderno aparece durante la Revolución Francesa—. Pero además, la telecomunicación constituye hoy en día un factor social y económico de gran relevancia. Así, estas tecnologías adquieren una importancia propia si valoramos su utilidad en conceptos como la globalización o la sociedad de la información y del conocimiento; que se complementa con la importancia de las mismas en cualquier tipo de actividad mercantil, financiera, bursátil o empresarial. Los medios de comunicación de masas también se valen de las telecomunicaciones para compartir contenidos al público, de gran importancia a la hora de entender el concepto de sociedad de masas.

La telecomunicación incluye muchas tecnologías como la radio, televisión, teléfono y telefonía móvil, comunicaciones de datos, redes informáticas o Internet. Gran parte de estas tecnologías, que nacieron para satisfacer necesidades militares o

científicas, ha convergido en otras enfocadas a un consumo no especializado llamadas tecnologías de la información y la comunicación, de gran importancia en la vida diaria de las personas, las empresas o las instituciones estatales y políticas.

## **1.2. Comunicación por microondas**

La comunicación por microondas se refiere a la transmisión de datos o energía a través de radiofrecuencias con longitudes de onda del tipo microondas.

Se describe como microondas a aquellas ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde los 500 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 “micro” ondas. 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.

Gran parte de los sistemas de comunicación establecidos desde mediados de las década de 1980 es de naturaleza digital y como es lógico transportan información en forma digital. Sin embargo, los sistemas terrestres de radio 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).

### **1.3. Ondas electromagnéticas y espectro electromagnético**

Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía.

Todas se propagan en el vacío a una velocidad constante, muy alta (300 0000 km/s) pero no infinita. Las ondas electromagnéticas se propagan mediante una oscilación de campos eléctricos y magnéticos. Estas son también soporte de las telecomunicaciones y el funcionamiento complejo del mundo actual.

El espectro electromagnético es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo.

## **1.4. Modulación**

Se denomina modulación al proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia. Debido a este proceso la señal de alta frecuencia denominada portadora, sufrirá la modificación de alguno de sus parámetros, siendo dicha modificación proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia denominada moduladora.

A la señal resultante de este proceso se la denomina señal modulada y la misma es la señal que se transmite.

### **1.4.1. Modulación de amplitud (AM)**

Este es un caso de modulación donde tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas.

Un modulador AM es un dispositivo con dos señales de entrada, una señal portadora de amplitud y frecuencia constante, y la señal de información o moduladora. El parámetro de la señal portadora que es modificado por la señal moduladora es la amplitud.

### **1.4.2. Modulación de frecuencia (FM)**

En este caso de modulación tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas y es un tipo de modulación exponencial.

La señal modulada mantendrá fija su amplitud y el parámetro de la señal portadora que variará es la frecuencia, y lo hace de acuerdo a como varíe la amplitud de la señal moduladora.

### **1.5. Factor de curvatura de la tierra (K)**

Cuando se diseña un radioenlace de larga distancia, es necesario tener en cuenta la orografía del terreno con el fin de identificar posibles obstáculos. Para ello se representa un perfil del radioenlace, en donde se puede apreciar fácilmente aquellos elementos que se encuentran más cercanos al haz radioeléctrico (primera zona de Fresnel) o que incluso pueden llegar a obstruirlo, provocando zonas de sombra con pérdidas de señal significativas. La representación del perfil del radioenlace se realiza a partir de las curvas de nivel de los mapas topográficos de la zona, aunque resulta de gran ayuda disponer de cartografías digitales del terreno. Sin embargo resulta necesario corregir las alturas como paso previo a los cálculos de despejamiento y de pérdidas por difracción.

En un radioenlace de larga distancia el haz electromagnético se curva como consecuencia del fenómeno de refracción troposférica. La troposfera puede modelarse con un gradiente de índices de refracción que varían con la altura, debido fundamentalmente a variaciones de temperatura y de presión. Ello provoca que la trayectoria del rayo no sea rectilínea, lo que a su vez obliga a variar ligeramente el apuntamiento de las antenas en el plano vertical.

Por otro lado, tampoco se debe obviar la curvatura terrestre, y más aún en el caso de radioenlaces de grandes distancias. Resulta evidente que la curvatura de la Tierra provoca una mayor influencia de los obstáculos, hasta el punto que puede

definirse un horizonte radioeléctrico por encima del cual se crea una zona de sombra.

Todos estos efectos contribuyen a una mayor o menor influencia de los obstáculos, que deberán modificar su altura real con el fin de modelarlos correctamente. Por una parte, la curvatura terrestre contribuye a aumentar la altura efectiva de los obstáculos sobre la cota imaginaria de Tierra plana. Por otro lado, el fenómeno de refracción troposférica contribuye en condiciones de atmósfera estándar ( $k = 4/3$ ) a disminuir la altura efectiva de los mismos, pues la trayectoria recorrida por el haz electromagnético suele tener una forma cóncava si la observamos desde la Tierra.

## **1.6. Primera zona de Fresnel**

Para modelar las pérdidas que se producen por la obstrucción del enlace radioeléctrico se utiliza el concepto de las llamadas zonas de Fresnel.

Las zonas de Fresnel son unos elipsoides concéntricos que rodean al rayo directo de un enlace radioeléctrico y que quedan definidos a partir de las posiciones de las antenas transmisora y receptora. Tienen la propiedad de que una onda que partiendo de la antena transmisora, se reflejara sobre la superficie del elipsoide y después incidiera sobre la antena receptora, habría recorrido una distancia superior a la recorrida por el rayo directo en múltiplos de media longitud de onda. Es decir, la onda reflejada se recibiría con un retardo respecto al rayo directo equivalente a un desfase múltiplo de  $180^\circ$ . Precisamente este valor del múltiplo determina el n-ésimo elipsoide de Fresnel.

De este modo, la primera zona de Fresnel ( $n = 1$ ) se caracteriza por el volumen interior al elipsoide con diferencia de distancias igual a una semilongitud de onda o diferencia de fases de  $180^\circ$ . Luego posibles reflexiones cerca del borde de la primera zona de Fresnel pueden causar atenuación, ya que la onda reflejada llegaría a la antena receptora en oposición de fase. Por lo tanto, durante la fase de planificación del radioenlace debe asegurarse que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos, bien aumentando la altura de los mástiles de las antenas o bien situándolos en otra posición del edificio. Evidentemente, una obstrucción completa de la zona de Fresnel produciría pérdidas todavía mayores.

### **1.7. Altura de las antenas**

Para encontrar el valor de la altura de las antenas es necesario haber calculado el radio de la primera zona de Fresnel y se requiere proponer la altura de la antena en el primer lugar. Mediante una ecuación se determina la altura de la segunda antena.

### **1.8. Ganancia de la antena**

La ganancia de una antena parabólica indica la cantidad de señal captada que se concentra en el alimentador. La ganancia depende del diámetro del plato, de la exactitud geométrica del reflector y de la frecuencia de operación. Si el diámetro aumenta, la ganancia también, porque se concentra mayor energía en el foco. La exactitud geométrica está relacionada con la precisión con la que se ha fabricado el reflector de la antena parabólica. La antena debe ser parabólica de modo que exista uno y sólo un foco y que en él se debe colocar el alimentador. Cualquier desviación de la curva parabólica hará que toda la energía que llegue al reflector

no se refleje en el foco, sino en un punto por delante o por detrás de éste, con lo cual perderemos energía. Lo propio para las irregularidades mecánicas en la superficie del reflector. Un golpe o abolladura presente en el plato hará que las señales reflejadas no se desvíen correctamente hacia el foco disminuyendo la energía electromagnética efectiva en el alimentador. Por otra parte, cuanto mayor sea la frecuencia, menor deberá ser el diámetro del reflector. Así, una señal para 5.8 GHz necesita un reflector de menor diámetro que otra señal en 2.4GHz. La ganancia del reflector se expresa en dB y se la define con respecto a una antena isotrópica (antena de longitud omnidireccional que se considera de ganancia unitaria); es decir, en relación a una antena que reciba exactamente lo mismo en todas direcciones.

### **1.9. Relación señal ruido (S/N)**

La relación señal ruido (S/N) es la diferencia entre el nivel de la señal y el nivel de ruido. Se entiende como ruido cualquier señal no deseada, en este caso, la señal eléctrica no deseada que circula por el interior de un equipo electrónico. El ruido se mide sin ninguna señal a la entrada del equipo.

Se habla de relación señal ruido (S/N) porque el nivel de ruido es más o menos perjudicial en función de cuál sea el nivel de la señal. La S/N se calcula como la diferencia entre el nivel de la señal cuando el aparato funciona a nivel nominal de trabajo y el nivel de ruido cuando, a ese mismo nivel de trabajo, no se introduce señal. En un amplificador, cuanto más se gire el mando de potencia, más se amplificará la señal y en la misma medida se amplificará el ruido.

### **1.10. Marco Referencial**

La comunidad de Juancho ubicada al sur de la provincia de Pedernales, es un pequeño pueblo actualmente constituido por una población de unos 3,752 habitantes. La cual presenta poco desarrollo en la tecnología en el área de las telecomunicaciones.

Dichos habitantes de la comunidad presentan poco o ningún tipo de acceso a comunicación tecnológica que les permita desarrollar responsabilidades diarias educativas y laborales; a su vez para lograr el acceso a estos servicios deben salir de la comunidad hacia otras cercanas, lo cual no es muy factible para la gran mayoría de estos habitantes, quienes carecen de recursos suficientes.

### **1.11. Marco Teórico**

La pequeña comunidad de Juancho, en la provincia de Pedernales se enfrenta día tras día con la dificultad de acceso a los avances de la ciencia y la tecnología. Estas dificultades les han retrasado el desarrollo tecnológico debido a las limitaciones para acceder a dichos servicios de tecnologías de comunicación.

Significa esto que los niños y jóvenes de las escuelas, universidad y demás no tienen a su alcance el medio de acceso a tecnologías de datos dentro de su comunidad. Por lo tanto deben acudir a las comunidades más cercanas con el fin de obtener el servicio.

Por dicha razón se quiere implementar una red de microondas con el fin de generar acceso a comunicación de datos a ésta comunidad, dichos habitantes ameritan la posibilidad de recurrir a este servicio.

Según documentos de monografías encontrados sobre la investigación del desarrollo de este sistema, citamos lo siguiente: "La tecnología ha hecho posible la

comunicación de datos entre diferentes equipos y entre usuarios; esta Conectividad es la que permite el uso de bases de datos distribuidas, el intercambio electrónico de datos, la implantación de DSS y DIS, las redes internacionales y los sistemas de punto de venta, entre muchas otras aplicaciones, proporcionando un escenario de intercambio de información con posibilidades ilimitadas. Para soportar el proceso de comunicaciones existen diversos canales de comunicación como los cables, la fibra óptica, las ondas de radio, microondas, satélite e infrarrojos; todos estos medios proporcionan comunicación de datos a distancia." (Arelina Sánchez B.)

Cabe destacar en ésta instancia que la comunicación es simplemente el proceso de compartir un mensaje. En cuanto a las comunicaciones de datos se refieren al hecho de compartir datos virtuales; comunicaciones electrónicas, como son los correos electrónicos y los mensajes instantáneos, así como también las llamadas de teléfono.

"Las comunicaciones de datos son afectadas por la distancia. La comunicación a larga distancia requiere una conexión LAN (red de área local), que se suele incorporar a computadoras. Para las distancias largas, como una llamada de teléfono de larga distancia, se usan señales de operador analógico moduladas digitalmente.

Las comunicaciones de datos te dan la posibilidad de estar en contacto con otros. Los teléfonos, la mensajería instantánea, los correos electrónicos y las redes sociales usan comunicación de datos." (Fenell, How en Español)

La telecomunicación incluye muchas tecnologías como la radio, televisión, teléfono y telefonía móvil, comunicaciones de datos, redes informáticas o Internet. Gran

parte de estas tecnologías se llevan a cabo para satisfacer necesidades militares o científicas, han convergido en otras enfocadas a un consumo no especializado llamadas tecnologías de la información y la comunicación, de gran importancia en la vida diaria de las personas, las empresas o las instituciones estatales y políticas.

La gran mayoría de los sistemas actuales de radio de microondas son de modulación de frecuencia, el cual es de naturaleza analógica. Sin embargo, en fechas recientes se han elaborado nuevos sistemas que usan modulación por conmutación de fase o por amplitud en cuadratura, que son formas básicamente de modulación digital. También se habla de sistemas satelitales que usan PCM o PSK, estos dos sistemas son similares a los sistemas terrestres de radio de microondas, sin duda los dos sistemas comparten muchas frecuencias. La diferencia principal entre los sistemas satelitales y terrestres de radio, es que los sistemas satelitales propagan señales fuera de la atmósfera terrestre, por lo que son capaces de llevar señales mucho más lejanas, usando menos transmisores y receptores.

Por consiguiente, se requiere desarrollar un enlace de microondas para el acceso de la comunidad de Juancho-Pedernales a los servicios de comunicación de datos, ofreciendo factibilidad en el desarrollo tecnológico y a su vez permitir viabilidad económica al hacer posible este crecimiento tecnológico a favor de sus habitantes.

## **1.12. Marco Conceptual**

**Información:** Es un conjunto de datos que representan ideas mediante las cuales

se incrementa nuestra conciencia, inteligencia o conocimiento. (Pérez, Introducción a las Telecomunicaciones, 1998)

**Red de Datos:** Se denomina red de datos a aquellas infraestructuras o redes de comunicación que se ha diseñado específicamente a la transmisión de información mediante el intercambio de datos. (Wikitel)

**Comunicación de Datos:** Es el procesamiento de los datos, con el fin de obtener una información. (Black, 1987)

**Transmisión de Datos:** Es la técnica que se emplea para transportar la información que se genera, procesa y almacena en los sistemas. (Pérez, Tecnologías y redes de transmisión de datos, 2003)

**Microonda:** Se denomina microondas a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que supone un período de oscilación de 3 ns ( $3 \times 10^{-9}$  s) a 3 ps ( $3 \times 10^{-12}$  s) y una longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm. (Blog de Electromagnetismo, 2012)

**Señal:** Manifestación eléctrica de la información. Su representación gráfica se conoce como onda eléctrica. (Pérez, Tecnologías y redes de transmisión de datos, 2003)

## **1.13. Diseño metodológico**

### **1.13.1. Tipo de estudio**

El estudio realizado para determinar el diseño e implementación de la red de microondas para la transmisión de datos, es una mezcla entre dos tipos de estudio de investigación. Por una parte es exploratorio debido a que pretende dar una visión general o de tipo aproximativo, respecto a la situación de Juancho en el

área de las telecomunicaciones. Otro motivo por el cual se puede denominar como exploratorio es que el tema ha sido poco tratado y reconocido, por lo cual todavía necesita seguir siendo desarrollado.

También se puede determinar el estudio investigativo como descriptivo, debido a que el propósito es describir la situación en la que se encuentra y el procedimiento que se llevará a cabo para mejorar esta situación.

### **1.13.2. Método**

Para el proceso de investigación de la propuesta de diseño de una red de enlaces de microondas para dar conectividad de datos a pequeñas comunidades de la República Dominicana. Caso: Juancho, Pedernales, se ha procedido con una metodología de análisis. Se ha inquirido mediante este método debido a la forma de trabajo que se basa en la observación de la situación, análisis de terreno para determinar el posicionamiento más preciso y adecuado para obtener mejores resultados con un bajo costo, dígame con el mínimo de equipamiento.

### **1.13.3. Técnicas**

En la realización de este trabajo se ha utilizado la técnica de documentación, ubicando y recolectado toda la información pertinente con respecto a la comunidad como son censos, en los cuales podemos encontrar densidad poblacional e ingresos de la comunidad. Otras técnicas son el análisis de terreno, con el cual logramos ubicar los centros a donde debemos situar los enlaces para alcanzar a la mayoría de masa poblacional en esta comunidad.

## Bibliografía

Black, U. D. (1987). *Redes de transmisión de datos y proceso distribuido*.

Ediciones Díaz de Santos.

Blog de Electromagnetismo. (18 de Febrero de 2012). Obtenido de

<http://blogdeelectromagnetismo.blogspot.com/2012/02/las-ondas-microondas.html>

Fenell, Z. (s.f.). How en Español.

Méndez, C. (2001). *Metodología de la investigación*. México: McGraw.

Pérez, E. H. (1998). *Introducción a las Telecomunicaciones*. Editorial Limusa.

Pérez, E. H. (2003). *Tecnologías y redes de transmisión de datos*. Editorial

Limusa.

Torres, C. A. (2006). *Metodología de la investigación: para administración,*

*economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación.

Redes de Datos. (s.f.). Obtenido de [http://wikitel.info/wiki/Redes\\_de\\_datos](http://wikitel.info/wiki/Redes_de_datos)

Historia de la Comunicación. (2008). Obtenido de

<http://www.historiadelacomunicacion.com/>

Microwave Link Networks.(2015). Obtenido de

[http://ethw.org/Microwave\\_Link\\_Networks](http://ethw.org/Microwave_Link_Networks)

Modulación de señales. (2008). Obtenido de

<http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion>

Corrección de altura de los obstáculos. (2011). Obtenido de

<http://www.radioenlaces.es/>

Cálculo de ganancia de antenas parabólicas. (2013). Obtenido de [http://es.wikibooks.org/wiki/C%C3%A1lculo de ganancia de antenas parab%C3%B3licas](http://es.wikibooks.org/wiki/C%C3%A1lculo_de_ganancia_de_antenas_parab%C3%B3licas)

# Posible Índice Temático

Titulo

Resumen

Tabla de contenidos

Capítulo I Redes de datos de radioenlaces de microondas

Capítulo II Diseño de la red de radioenlaces de microondas

Capítulo III Simulación y análisis del diseño propuesto

Conclusión

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos