

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACES EN  
LA BANDA DE 400MHz PARA EL MONITOREO Y  
CONTROL DE ESTACIONES DE SEDAPAL EN EL  
ESQUEMA CIENEGUILLA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**GRECIA MELISSA DIONICIO ANTUNEZ  
ERIKA MILAGROS CUMAPA ROQUE  
PERCY DAVID VICENTE LEIVA**

**Callao, abril del 2018  
PERÚ**



## INDICE

TABLA DE CONTENIDO	3
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
CAPITULO I	13
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION	13
<b>1.1. Identificación del problema.</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Formulación general</b>	<b>14</b>
a. Problema General.	14
b. Problemas Específicos.	14
<b>1.3. Objetivos de la investigación.</b>	<b>15</b>
a. Objetivo General.	15
b. Objetivos Específicos.	15
<b>1.4. Justificación.</b>	<b>16</b>
a. Justificación Legal	16
b. Justificación Teórica	16
c. Justificación Tecnológica	16
d. Justificación Económica	16
<b>1.5. Importancia.</b>	<b>17</b>
CAPITULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
<b>2.1. Antecedentes del estudio.</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Fundamento Epistemológico</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Fundamento Ontológico</b>	<b>19</b>
<b>2.4. Fundamento Metodológico</b>	<b>19</b>
<b>2.5. Definiciones de términos básicos</b>	<b>21</b>
CAPITULO III	25
VARIABLES E HIPÓTESIS	25
<b>3.1. Variables de la investigación</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Operacionalización de variables.</b>	<b>25</b>
<b>3.3. Hipótesis general e hipótesis específicos</b>	<b>27</b>

CAPITULO IV	28
METODOLOGÍA	28
<b>4.1. Tipo de Investigación.</b>	<b>28</b>
<b>4.2. Diseño de la investigación.</b>	<b>28</b>
<b>4.3. Población y muestra</b>	<b>64</b>
<b>4.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos</b>	<b>66</b>
<b>4.5. Procedimientos de recolección de datos</b>	<b>66</b>
<b>4.6. Procesamiento estadísticos y análisis de datos</b>	<b>67</b>
CAPITULO V	72
RESULTADOS	72
CAPITULO VI	100
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	100
<b>a. Contrastación de hipótesis con los resultados.</b>	<b>100</b>
<b>b. Contrastación de resultados con otros estudios similares.</b>	<b>101</b>
CAPITULO VII	102
CONCLUSIONES	102
CAPITULO VIII	103
RECOMENDACIONES	103
CAPITULO IX	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS	107
<b>1. Matriz de Consistencia.</b>	<b>108</b>
<b>2. Especificaciones técnicas de los equipos utilizados:</b>	<b>109</b>
<b>3. PLAN NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS PNAF</b>	<b>114</b>
<b>4. DISPOSICIONES DE RADIOCANALES (CANALIZACIONES) PARA LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES.</b>	<b>116</b>

## TABLA DE CONTENIDO

### 1. Contenido de Figuras

Figura N° 4. 1.....	30
Figura N° 4. 2.....	33
Figura N° 4. 3 Antenas de hilo .....	37
Figura N° 4. 4 Antenas de apertura .....	38
Figura N° 4. 5 Antenas microstrip: consisten en un parche metálico sobre un substrato y un plano de masa por debajo. ....	38
Figura N° 4. 6 Reflector parabólico para aplicaciones radioastronómicas. ...	39
Figura N° 4. 7 Reflector parabólico para aplicaciones radioastronómicas. ...	40
Figura N° 4. 8 Antena en modo transmisión y equivalente de Thevenin.....	42
Figura N° 4. 9 Diagrama de radiación 3D. Plano E.....	46
Figura N° 4. 10 Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas y polares. ....	47
Figura N° 4. 11 Parámetros del diagrama de radiación .....	49
Figura N° 4. 12 Diagrama de radiación de la antena isotrópica .....	50
Figura N° 4. 13 Diagrama de radiación de la antena isotrópica en (a) 3 dimensiones, (b) el plano horizontal y (c) en el plano vertical.....	51
Figura N° 4. 14 Diagrama de radiación del dipolo elemental en (a) 3 dimensiones, (b) el plano horizontal y (c) en el plano vertical. Superpuesto en línea punteada el de la antena isotrópica .....	52

Figura N° 4. 15 Patrón de radiación del dipolo elemental en función de la elevación.....	53
Figura N° 4. 16 Directividad: la radiación isotrópica ( $D=1$ , mínima directividad posible) se utiliza como referencia.....	55
Figura N° 4. 17 Ganancia y directividad en las terminales de la antena.....	57
Figura N° 4. 18 Onda polarizada verticalmente. ....	58
Figura N° 4. 19 Representación de primera zona de Fresnel .....	60
Figura N° 4. 20 RED MICROONDAS – 23 GHZ 200 MBPS MPLS .....	62
Figura N° 4. 21 Red Backbone desde la estación Santa Rosa (Atarjea) hasta nuestra Estación maestra RE-01 (Cieneguilla). ....	62
Figura N° 4. 22 Topología tipo estrella para el diseño de radioenlaces en la banda de 400MHz.....	63
Figura N° 4. 23 Topología de diseño a través del software RADIO MOBILE	64
Figura N° 4. 24 Perfil Cieneguilla.....	65
Figura N° 4. 25 Radio modem marca Xetawave .....	69
Figura N° 4. 26 Especificaciones técnicas de transmisión.....	69
Figura N° 4. 27 Radio Modem MDS SD4 General Electric .....	70
Figura N° 4. 28 Especificaciones técnicas de transmisión.....	70
Figura N° 4. 29 Radio modem de la marca Racom.....	70
Figura N° 4. 30 Especificaciones técnicas de comunicación de la radio Racom.....	71

Figura N° 5. 1 Perfil de enlace .....	73
Figura N° 5. 2 Representación de la distancia de estaciones RE-01 y PP-03 .....	76
Figura N° 5. 3 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y PP-03 obtenidas del Software Radio Mobile.....	76
Figura N° 5. 4 Representación de la distancia de estaciones CRP-06 y RE-01 .....	77
Figura N° 5.5 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y CRP-06 obtenidas del Software Radio Mobile .....	78
Figura N° 5. 6 Representación de la distancia de estaciones CI-02 y RE-01	79
Figura N° 5. 7 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y CI-02 obtenidas del Software Radio Mobile´ .....	80
Figura N° 5. 8 Representación de la distancia de estaciones PE-773 y RE-01 .....	81
Figura N° 5. 9 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y PE-773 obtenidas del Software Radio Mobile.....	81
Figura N° 5.10 Instalación de antena Yagi y medición de radioespectro en la estación PE-773.....	82
Figura N° 5.11 Captura del analizador de espectro en la estación PE-773 ..	82
Figura N° 5. 12 Instalación de antena Yagi y medición de radioespectro en la estación CRP06 .....	83
Figura N° 5. 13 Captura del analizador de espectro en la estación CRP06..	83
Figura N° 5. 14 Instalación de antena yagi y medición de radioespectro en la estación PP-03.....	84

Figura N° 5. 15 Captura del analizador de espectro en la estación PP-03 ...	84
Figura N° 5. 16 Instalación de antena Yagi en la estación RE-01.....	85
Figura N° 5. 17 Medición de radioespectro en la estación RE-01.....	85
Figura N° 5. 18 Captura del analizador de espectro en la estación RE-01 ...	86
Figura N° 5. 19 Instalación de antena yagi en la estación CI-02.....	86
Figura N° 5. 20 Medición de radioespectro en la estación CI-02.....	87
Figura N° 5. 21 Captura del analizador de espectro en la estación CI-02 ....	87
Figura N° 5. 22 Pestaña de configuración en estación RE01 .....	89
Figura N° 5. 23 Pestaña de RSSI en estación RE01 .....	90
Figura N° 5. 24 Pestaña de configuración en estación PP03.....	90
Figura N° 5. 25 Pestaña de RSSI en estación PP03 .....	91
Figura N° 5. 26 Pestaña de configuración en estación CI02.....	91
Figura N° 5. 27 Pestaña de RSSI en estación CI02.....	92
Figura N° 5. 28 Pestaña de configuración en estación PE773.....	92
Figura N° 5. 29 Pestaña de RSSI en estación PE773 .....	93
Figura N° 5. 30 Vista del JPERF desde la estación Maestra .....	94
Figura N° 5. 31 Saturación de ancho de banda de PP03 .....	94
Figura N° 5. 32 Gráfica de saturación para la estación PP03.....	95

Figura N° 5. 33 Saturación de ancho de banda de CI02.....	95
Figura N° 5. 34 Gráfica de saturación para la estación CI02 .....	95
Figura N° 5. 35 Saturación de ancho de banda de PE773 .....	96
Figura N° 5. 36 Gráfica de saturación para la estación PE773 .....	96
Figura N° 5. 37 Saturación del ancho de banda de manera simultánea entre las 3 estaciones y la estación maestra. ....	97

## 2. Contenido de tablas

Tabla N° 3. 1 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....	26
Tabla N° 4. 1 División del espectro electromagnético y longitudes de onda.....	34
Tabla N° 4. 2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN PRINCIPAL (SCP - BACKBONE).....	61
Tabla N° 4. 3 Tabla de estaciones del Esquema Cieneguilla .....	63
Tabla N° 4. 4 Ubicación geográfica de las estaciones.....	66
Tabla N° 4. 5 Cronograma de análisis .....	67
Tabla N° 4. 6 Cronograma de análisis .....	68
Tabla N° 5. 1 Descripción de enlace entre estaciones PP03 – RE01 .....	75
Tabla N° 5. 2 Descripción de enlace entre estaciones CRP 06 – RE01 .....	77
Tabla N° 5. 3 Descripción de enlace entre estaciones CI-02 – RE-01.....	79
Tabla N° 5. 4 Descripción de enlace entre estaciones PE-773 – RE-01.....	81
Tabla N° 5. 5 Resultado obtenido de análisis periódico.....	88
Tabla N° 5. 6 Componentes considerados en el proyecto de tesis.....	98
Tabla N° 5. 7 Costo por honorario por cada alumno tesista.....	99

## RESUMEN

Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. Además si los terminales son fijos, el servicio se lo denomina como tal y si algún terminal es móvil, se lo denomina dentro de los servicios de esas características.

Se puede definir al radio enlace del servicio fijo, como sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas.

El radio enlace, establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex, de donde se deben transmitir dos portadoras moduladas: una para la Transmisión y otra para la recepción. Al par de frecuencias asignadas para la transmisión y recepción de las señales, se lo denomina radio canal.

Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles, es decir, puntos altos de la topografía.

Cualquiera que sea la magnitud del sistema, para un correcto funcionamiento es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región.

Entonces bajo este concepto, con el objetivo de ampliar y lograr que la Empresa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, SEDAPAL

preste mejores servicios de abastecimiento agua potable y alcantarillado en la zona de Cieneguilla, se ejecutara el estudio y diseño que permitirán el acceso a la población de estos servicios básicos. Como parte de la optimización de estas Obras se está considerando que la operación de cada una de estas esté automatizada e integrada al Sistema SCADA en lo que respecta a sus instalaciones hidráulicas (pozos, reservorios, rebombes, entradas a sector, etc.) que se interconectarán a la red de distribución primaria de agua potable. Con esta implementación se busca involucrar diversos niveles de automatización y comunicarlos a través de radioenlaces.

Finalmente, la presente tesis tiene por finalidad exponer la actualización de los Diseños de Automatización, Telemetría y Scada del Proyecto “Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Esquema Cieneguilla”.

## **ABSTRACT**

It is called radio link to any interconnection between telecommunications terminals made by electromagnetic waves. In addition, if the terminals are fixed, the service is called as such and what is terminal is mobile, it is called within the services of those characteristics.

The radio link of the fixed service can be defined as communication systems between fixed points located on the land surface, which offer an information capacity, with certain quality and availability characteristics.

The radio links, a communication concept of the connected type, from where two modulated carriers must be transmitted: one for the transmission and another for the reception. At the pair of frequencies assigned for the transmission and reception of the signals, it is called radio channel.

The links are basically made between visible points, that is, high points of the topography.

Whatever the magnitude of the system, for a correct operation it is necessary that the routes between the links have a free height and adequate for the propagation in all the time of the year, taking into account the variations of the atmospheric conditions of the region.

With this objective, with the objective of expanding and achieving the Drinking Water and Sewerage Services Company of Lima, SEDAPAL provides the best potable water and sewerage services in the Cieneguilla area, the study will be

executed and designed to do so. Access to the population of these basic services. As part of the optimization of these works, the SCADA process is being considered in relation to its hydraulic installations (wells, reservoirs, rebounds, inputs to a sector, etc.) that will be interconnected to the primary distribution network of drinking water. This implementation seeks to involve levels of automation and communicate them through radio links.

Finally, this thesis aims to expose the updating of the Automation, Telemetry and Scada Designs of the Project "Expansion and Improvement of the Drinking Water and Sewerage System of the Cieneguilla Scheme".

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación del problema.**

En la actualidad, existen diversas estaciones de SEDAPAL con una falta de actualización de los diseños de automatización, telemetría y SCADA lo que dificulta el suministro de agua potable en zonas del esquema Cieneguilla.

El monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL (reservorios, pozos, cámaras de ingreso, cámaras de Rebombeo, etc) del esquema Cieneguilla, se viene realizando de manera manual. Consideramos como desventaja este tipo de metodología, por motivo que se requiere una atención permanente de un operario, lo que no es considerado un sistema eficiente por las demoras existentes de respuesta.

Dentro del programa de mejoramiento y modernización de las estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla, existen proyectos de ampliación y mejoramiento del servicio debido a su proyección de crecimiento poblacional y modernización del servicio.

La interconexión de estas estaciones, se deben realizar de manera inalámbrica. Debido a la ausencia de una vía de comunicación física donde podamos hacer uso de un medio alámbrico. Se recurre al planteamiento de un sistema Punto Multipunto, por su alta confiabilidad de comunicación.

El diseño para la interconexión de las estaciones a través de radioenlaces, involucran un estudio de diferentes factores como perfiles geográficos, altura de las antenas, cálculo de las zonas de fresnel, ganancia de las antenas, cálculo de los Azimut, potencia de transmisión, potencia radiada efectiva, pérdidas generadas por espacio libre, entre otros. Todas estas consideraciones deben estar alineadas a los parámetros requeridos por SEDAPAL para garantizar la confiabilidad del enlace.

Debido a que la estación maestra y el CC.SS. no cuentan con línea de vista directa, ya que presenta relieve rocoso, se deberá proponer una estación repetidora.

## **1.2. Formulación general**

### **a. Problema General.**

¿De qué manera el sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz, permitirá el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla?

### **b. Problemas Específicos.**

P.E.1 ¿Qué software me permite el diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz que permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla?

P.E.2 ¿Qué niveles óptimos debe poseer nuestros enlaces para poder garantizar el 99.95% de confiabilidad del sistema planteado?

P.E.3 ¿Cuáles sería los valores de ancho de banda y la transferencia efectiva de los enlaces que permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla?

P.E.4 ¿Cuáles son los tiempos de carga y descarga de un archivo de PLC desde la estación cabecera hacia las estaciones remotas sin interrumpir el monitoreo y control de las otras estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla?

### **1.3. Objetivos de la investigación.**

#### **a. Objetivo General.**

Diseñar un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz para el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla

#### **b. Objetivos Específicos.**

O.E.1 Diseñar del sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz que permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla utilizando un software licenciado.

O.E.2 Determinar los niveles óptimos de los enlaces para garantizar el 99.95% de confiabilidad del sistema planteado.

O.E.3 Determinar el ancho de banda y la transferencia efectiva (throughput) de los enlaces permite el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla.

O.E.4 Determinar el tiempo de carga y descarga de un archivo de PLC desde la estación cabecera hacia las estaciones remotas sin interrumpir el monitoreo y control de las otras estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.

#### **1.4. Justificación.**

##### **a. Justificación Legal**

El presente proyecto de tesis no infringe las frecuencias de trabajo permitidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC.

##### **b. Justificación Teórica**

Desarrollo de un sistema de interconexión basado en radioenlaces en una banda licenciada.

Disminución de actividades repetitivas para el ser humano, promoviendo el mejor uso de sus habilidades.

##### **c. Justificación Tecnológica**

Modernización en el monitoreo y control de estaciones hídricas de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.

##### **d. Justificación Económica**

La modernización de las centrales de monitoreo al utilizar un SCADA disminuye la cantidad de horas hombre utilizadas al realizar la recolección manual de datos, lo que permite utilizar estos recursos de tiempo y dinero en optimizar y/o mejorar otras actividades.

### **1.5. Importancia.**

El objetivo del presente informe es describir el sistema de comunicación a implementar, esto en base a estándares internacionales y nacionales, para que las estaciones remotas (ER) hidráulicamente dependientes se comuniquen entre si y además para que la información de cada ER sea llevada y visualizada en el SCADA de la Atarjea.

A través de este estudio se contribuye a la mejora de SEDAPAL al ampliar y prestar mejores servicios de abastecimiento agua potable y alcantarillado en las zonas periféricas de la ciudad de Lima, de manera más eficiente y rápida respuesta a posibles fallas en el sistema.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio.**

- En la Universidad Nacional de Ingeniería, existe una tesis de pregrado, titulada “Estudio general del sistema de almacenamiento de agua potable en los distritos de Lima sur y Lima centro”, presentada por María Edith Salvador Ricra. A lo largo de este trabajo se concluye que tras el estudio realizado en los diversos sectores de Lima que abarca su investigación entre ellos Cieneguilla, existe una falta de un mantenimiento preventivo en las redes de comunicación de datos SCADA generando este un error porcentual de +/-15, haciendo que el procedimiento necesariamente involucre validación entre datos existentes con los actuales.
- En la Pontificia Universidad Católica del Perú, existe una tesis de pregrado, titulada “Diseño de radioenlace microondas isla San Lorenzo – campus PUCP para el proyecto Peru Magneto”, presentada por Ricardo Erick Díaz Vargas. A lo largo de esta investigación se llega a la conclusión que la implementación de un sistema por radioenlace es mucho más económico que la utilización de comunicación vía Fibra Óptica o satelital. Esto claro si se efectúa un correcto estudio de los alcances del proyecto tanto como relieve y banda de frecuencias de trabajo.

## **2.2. Fundamento Epistemológico**

Epistemológicamente, la relación entre la señal de entrada y salida; es decir entre variables dependientes y las independientes se determinan por diversos factores de estudio principalmente puntos de ubicación geográfica de las antenas que determinan los niveles de recepción de los enlaces.

Para este caso donde se usará la banda de 400 MHz para comprobar la velocidad de transmisión de datos y la factibilidad de la implementación de una red de monitoreo y control.

## **2.3. Fundamento Ontológico**

El fundamento ontológico del marco teórico se describe como sigue: el sistema de monitoreo y control consiste en la adquisición de datos obtenidos de las estaciones remotas hidráulicamente dependientes que serán llevadas, visualizadas y controladas en el SCADA de la estación maestra del Subsistema.

## **2.4. Fundamento Metodológico**

La metodología a seguir para el diseño de un radioenlace en la banda 400 MHz para monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla, se fundamente en los siguientes pasos:

- Visita de campo, donde se verificará que las condiciones sean las adecuadas para realizar los trabajos de Análisis de espectro en la banda de 400 MHz.

- Determinar la disponibilidad de la banda de 400 MHz, mediante el Análisis de espectro, con el fin de determinar la existencia de portadoras que causen interferencia en dichas bandas que impidan el correcto funcionamiento de la red de Telemetría.
- Evaluación de la confiabilidad de los enlaces mediante los cálculos de los Radioenlaces, que involucran: Perfiles Geográficos, alturas de las antenas, cálculo de los Azimut, ganancia de antenas, cálculo de las zonas de Fresnel, longitud de la trayectoria de los radioenlaces, pérdidas Generadas en el espacio libre, potencia de transmisión, potencia radiada efectiva, nivel de señal recibida, margen de desvanecimiento.
- Análisis de Línea de Vista donde se verificará que no existan elementos que puedan reflejar o refractar las ondas de radio, cotas y ubicaciones geográficas, la libertad de la primera zona de Fresnel, según los porcentajes técnicos recomendados y análisis de tráfico de datos.
- Diseño del sistema de comunicaciones que permita soportar el tráfico que genere el total de los elementos y variables hidráulicas del sistema de automatización (información de PLC), analizador programación y reprogramación de los PLC a distancia; será sustentado mediante un análisis.

## **2.5. Definiciones de términos básicos**

- **Ancho de banda:**

Es la cantidad de información que puede transmitirse en un segundo por ese medio de comunicación por un tiempo determinado. El ancho de banda se mide en bps (bits por segundo, unidad de velocidad digital).

- **El ancho de banda analógico:**

Se mide en función de la cantidad de espectro magnético ocupada por cada señal. La unidad de medida básica del ancho de banda analógico es el hercio (Hz), o ciclos por segundo. Por lo general, se usan múltiplos de esta unidad de medida básica para anchos de banda analógicos, al igual que para los anchos de banda digitales. Las unidades de medida más comúnmente usadas son el kilohercio (KHz), el megahercio (MHz), y el gigahercio (GHz).

- **Estación Remota (ER):**

Estación Remota, representa un punto de monitoreo y/o control automatizado localmente; y controlado y supervisado a distancia.

- **Redundancia:**

Se entiende como redundancia al medio de comunicación alterno que se utiliza para comunicar dos puntos remotos.

- **Sistema de comunicación local (SCL):**

Se define el sistema de comunicación local, como la comunicación entre estaciones remotas, de permitir la geografía estos enlaces se hacen coincidir con las dependencias hidráulicas.

- **Sistema de Comunicación Principal (SCP):**

Corresponde a la red troncal de comunicación (backbone), específicamente al sistema de radioenlaces en la banda de 23GHz pertenecientes a las estaciones dentro del proyecto del esquema de Cieneguilla como también a las estaciones que permiten la conexión con la Atarjea.

- **Estación Remota Maestra (ERM):**

Estación principal (cabecera) de un grupo de estaciones que gobierna una topología tipo estrella, ésta centralizará la información que será enviada al SCADA ubicada en el centro del control, mediante la red de radioenlace en la banda de 23GHz (backbone).

- **Estación Remota Esclavas (ERE):**

Estaciones más alejadas de la topología tipo estrella, las cuales pueden ser cámaras de Rebombeo, cisternas, reservorios apoyados, etc. Donde las radios de comunicación industrial se encontrarán en modo Slave, las cuales serán gobernadas por sus estaciones remotas maestras correspondientes.

- **Base de datos SCADA (Tiempo Real):**

Base de Datos del Software SCADA, puede ser consultada mediante sentencias SQL del tipo DML, esta base de datos exporta la información periódicamente hacia la base de datos Histórica.

- **MODBUS:**

Protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos. Es abierto y no propietario, de implementación simple y sencilla y maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

- **MODBUS/TCP:**

Es una variante o extensión del protocolo MODBUS que permite utilizarlo sobre la capa de transporte TCP/IP.

- **Throughput:**

El rendimiento o el rendimiento de la red es la tasa de entrega exitosa de mensajes a través de un canal de comunicación. Los datos a los que pertenecen estos mensajes pueden entregarse a través de un enlace físico o lógico, o pueden pasar a través de un determinado nodo de red. El rendimiento se mide generalmente en bits por segundo (bit / s o bps) y, a veces, en paquetes de datos por segundo (p / s o pps) o paquetes de datos por intervalo de tiempo. Existen varios softwares que permiten medir este parámetro de

información, nosotros usaremos el Wireshark, un software de espectador, se encargará de registrar y medir la información que circule en la topología.

- **Tiempo de latencia:**

Es la suma de retardos temporales dentro de una red. Un retardo es producido por la demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red. Otros factores que influyen en la latencia de una red son: el tamaño de los paquetes transmitidos, el tamaño de los búferes dentro de los equipos de conectividad. Ellos pueden producir un retardo medio de encolado.

## **CAPITULO III**

### **VARIABLES E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Variables de la investigación**

##### **a. Variables independientes**

Respecto al planteamiento del problema y de las interrogantes planteadas al problema, los antecedentes, como los objetivos generales y específicos se consideraron las siguientes variables:

- Monitoreo y control de estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla
- Canales de comunicación en la banda licenciada de 400MHz.
- Puntos geográficos de ubicación de estaciones.
- Distancia de las estaciones.

##### **b. Variables dependientes**

- Diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz.
- Potencia de los equipos de transmisión.
- Altura de las antenas.
- Ganancia de las antenas de trasmisión y recepción.
- Ancho de banda de los radioenlaces.
- Niveles de recepción del radioenlace.
- Velocidad de carga y descarga de un archivo de PLC.
- Transmisión efectiva – throughput.

#### **3.2. Operacionalización de variables.**

Tabla N° 3. 1 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES
Canales de comunicación en la banda licenciada de 400MHz	Medio de comunicación con una frecuencia específica del espectro de radioeléctrico de la banda de 400MHz
Potencia de los equipos de transmisión	La fuerza con la que nuestras radios industriales de comunicación, puedan generar el lóbulo necesario para enlazar dos estaciones
Ganancia de las antenas de transmisión y recepción.	Este parámetro nos permite reducir la potencia de nuestras radios industriales de comunicación.
VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES
Ancho de banda de los radioenlaces	Es la cantidad de información que podemos transmitir por medio de nuestros radioenlaces.
Niveles de recepción del radioenlace	Es la sensibilidad o señal mínima necesaria para el correcto funcionamiento de nuestro radioenlace.
Velocidad de carga y descarga de un archivo de PLC	Medición en el tiempo de la carga y descarga de un archivo de PLC de manera remota.
Transmisión efectiva - Throughput	Es el volumen de información neto que fluye por nuestro sistema de radioenlace.

### **3.3. Hipótesis general e hipótesis específicos**

#### **a. Hipótesis General**

Un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz permite el monitoreo y control de estaciones de SEDAPAL del Esquema Cieneguilla, a pesar de que esta banda licenciada posee un ancho de banda demasiado limitado.

#### **b. Hipótesis Específicos**

H.E.1 El diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz que permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla requiere de un software licenciado.

H.E.2 Los niveles óptimos de los enlaces garantizan el 99.95% de confiabilidad de sistema planteado.

H.E.3 El ancho de banda y la transferencia efectiva (throughput) de los enlaces permite el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.

H.E.4 Los tiempos de carga y descarga de un archivo de PLC desde la estación cabecera hacia las estaciones remotas no interrumpen el monitoreo y control de las otras estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1. Tipo de Investigación.**

La investigación que se realizó para hacer este estudio se determina como un proyecto factible en el cual se demostrará los beneficios de utilizar este tipo de banda de frecuencia para realizar telemetría, este estudio se fundamenta en un estudio cuantitativo tecnológico con niveles de aplicación industrial.

#### **4.2. Diseño de la investigación.**

##### **a. Fundamentos teóricos.**

##### **Ondas electromagnéticas**

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de largas distancias. Desde la perspectiva del usuario, las conexiones inalámbricas no son particularmente diferentes de cualquier otra conexión: el navegador web, el correo electrónico y otras aplicaciones funcionan como se esperaba. Pero las ondas de radio tienen algunas propiedades inesperadas en comparación con una red cableada Ethernet.

También se puede confiar en que desplegar muchos cables Ethernet unos al lado de otro no va a causar problemas, ya que los cables confinan efectivamente las señales dentro de sí.

Para construir enlaces inalámbricos de alta velocidad, es importante comprender cómo se comportan las ondas de radio en el mundo real.

Lo que tienen en común las ondas mecánicas con las electromagnéticas es que algo, como un medio o un objeto, está vibrando de forma periódica, con cierto número de ciclos por unidad de tiempo. Este tipo de onda es definida por el movimiento de un objeto o de su medio de propagación.

Cuando esas oscilaciones viajan (esto es, cuando las vibraciones no están limitadas a un lugar) hablamos de ondas propagándose en el espacio. Por ejemplo, un cantante crea oscilaciones periódicas de sus cuerdas vocales al cantar. Estas oscilaciones comprimen y descomprimen el aire periódicamente, y ese cambio periódico de la presión del aire sale de la boca del cantante y viaja a la velocidad del sonido. Una piedra arrojada a un lago causa una alteración que viaja a través del mismo como una onda.

Una onda tiene cierta velocidad, frecuencia y longitud de onda. Las mismas están conectadas por una simple relación:

$$\textit{velocidad} = \textit{frecuencia} * \textit{longitud de onda}$$

La longitud de onda (algunas veces denotada como lambda,  $\lambda$ ) es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, por ejemplo desde la cima de un pico hasta el siguiente. La frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo. La

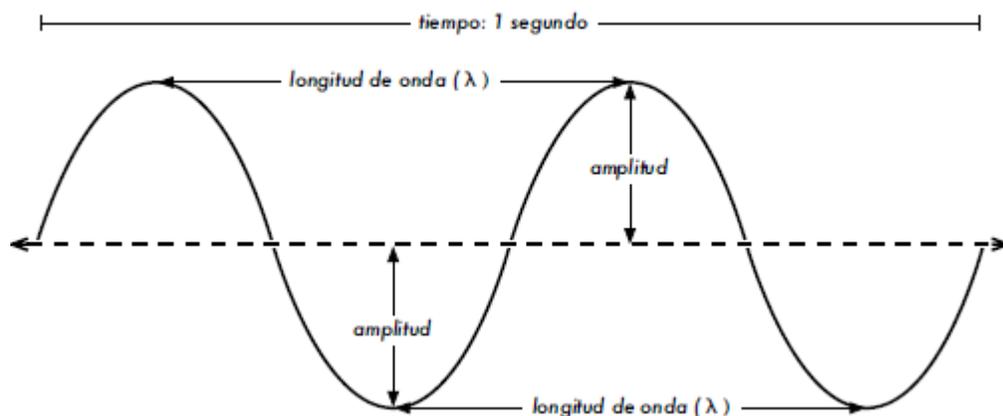
velocidad se mide en metros/segundo, la frecuencia en ciclos por segundo (o Hertz, abreviado Hz), y la longitud de onda, en metros.

Las ondas también tienen una propiedad denominada amplitud. Esta es la distancia desde el centro de la onda hasta el extremo de uno de sus picos, y puede ser asimilada a la “altura” de una onda de agua. La relación entre frecuencia, longitud de onda y amplitud se muestra en la Figura 4.1.

Las ondas en el agua son fáciles de visualizar. Simplemente tire una piedra en un lago y verá las ondas y su movimiento a través del agua por un tiempo. En el caso de las ondas electromagnéticas, la parte que puede ser más difícil de comprender el origen de su oscilación.

Figura N° 4. 1

Longitud de onda, amplitud y frecuencia. En este caso la frecuencia es 2 ciclos por segundo, o 2Hz.



Fuente: Redes inalámbricas en los países en desarrollo: una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo. (2008). 4th ed. Gran Bretaña: Hacker Friendly LLC, 2008.

## **Fuerzas electromagnéticas**

Las fuerzas electromagnéticas son fuerzas entre cargas y corrientes eléctricas. Nos percatamos de ellas cuando tocamos la manija de una puerta después de haber caminado en una alfombra sintética, o cuando rozamos una cerca eléctrica. Un ejemplo más fuerte de las fuerzas electromagnéticas son los relámpagos que vemos durante las tormentas eléctricas. La fuerza eléctrica es la fuerza entre cargas eléctricas. La fuerza magnética es la fuerza entre corrientes eléctricas.

Los electrones son partículas que tienen carga eléctrica negativa. También hay otras partículas, pero los electrones son responsables de la mayor parte de las cosas que necesitamos conocer para saber cómo funciona un radio.

Veamos qué sucede en un trozo de alambre recto en el cual empujamos los electrones de un extremo a otro periódicamente. En cierto momento, el extremo superior del alambre está cargado negativamente –todos los electrones están acumulados allí. Esto genera un campo eléctrico que va de positivo a negativo a lo largo del alambre. Al momento siguiente, los electrones se han acumulado al otro lado y el campo eléctrico apunta en el otro sentido. Si esto sucede una y otra vez, los vectores de campo eléctrico, por así decirlo, (flechas de positivo a negativo) abandonan el alambre y son radiados en el espacio que lo rodea.

Lo que hemos descrito se conoce como dipolo (debido a los dos polos, positivo y negativo), o más comúnmente antena dipolo. Esta es la forma más simple

de la antena omnidireccional. El movimiento del campo electromagnético es denominado comúnmente onda electromagnética.

Si vemos la relación:

$$velocidad = frecuencia * longitud\ de\ onda$$

En el caso de las ondas electromagnéticas,  $c$  es la velocidad de la luz.

$$c = 300000km/s = 300000000m/s = 3 \times 10^8 m/s$$

$$c = f \lambda$$

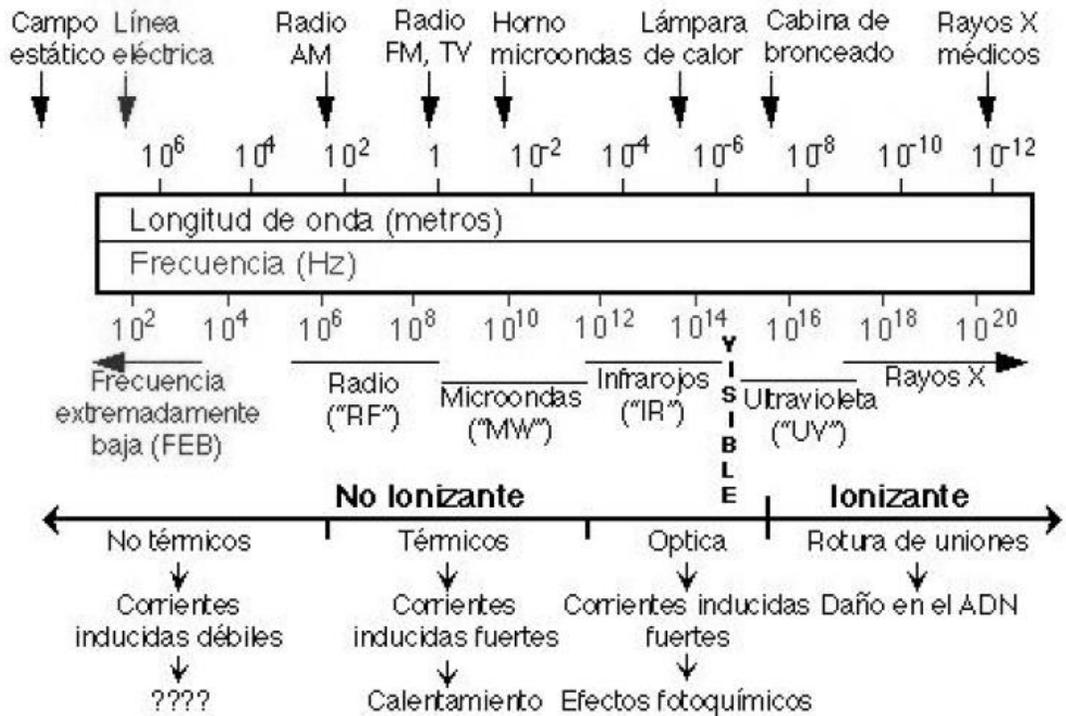
Las ondas electromagnéticas difieren de las mecánicas en que no necesitan de un medio para propagarse. Las mismas se propagan incluso en el vacío del espacio.

### **Espectro electromagnético**

En la figura 4.2 se pueden visualizar las bandas de frecuencias existentes en el espectro electromagnético, además clasificación de acuerdo a las longitudes de onda y ciertas características de estas, como ondas ionizantes o no ionizantes.

Figura N° 4. 2

Bandas de frecuencias del espectro electromagnético



Fuente: Redes inalámbricas en los países en desarrollo: una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo. (2008). 4th ed. Gran Bretaña: Hacker Friendly LLC, 2008.

Las ondas electromagnéticas abarcan un amplio rango de frecuencias (y, correspondientemente, de longitudes de onda). Este rango de frecuencias y longitudes de onda es denominado espectro electromagnético. La parte del espectro más familiar a los seres humanos es probablemente la luz, la porción visible del espectro electromagnético.

La luz se ubica aproximadamente entre las frecuencias de  $7.5 \cdot 10^{14}$  Hz y  $3.8 \cdot 10^{14}$  Hz, correspondientes a longitudes de onda desde cerca de 400 nm (violeta/azul) a 800 nm (rojo).

Tabla N° 4. 1 División del espectro electromagnético y longitudes de onda.

<b>Frecuencia</b>	<b>Denominación</b>	<b>Longitud de onda</b>
3 – 30 KHz	VLF Frecuencia muy baja	100,000 – 10,000 m
30 – 300 KHz	LF Frecuencia baja	10,000 – 1000 m
300 – 3000 KHz	MF Frecuencia media	1000 - 100 m
3 – 30 Mhz	HF Frecuencia alta	100 – 10 m
30 – 300 Mhz	VHF Frecuencia muy alta	10 – 1 m
300 – 3000 Mhz	UHF Frecuencia Ultra elevada	1 m – 10 cm
3 – 30 Ghz	SHF Frecuencia Superelevada	10 – 1 cm
30 – 300 Ghz	EHF Frecuencia Extremadamente alta	1 cm – 1 mm

Normalmente también estamos expuestos a otras regiones del espectro electromagnético, incluyendo los campos de la red de distribución eléctrica CA (Corriente Alterna) de 50/60 Hz, radio AM y FM, Ultravioleta (en las frecuencias más altas de la luz visible), Infrarrojo (en las frecuencias más bajas de la luz visible) Rayos-X, y muchas otras.

Radio es el término utilizado para la porción del espectro electromagnético en la que las ondas pueden ser transmitidas aplicando corriente alterna a una antena. Esto abarca el rango de 30 kHz a 300 GHz, pero en el sentido más

restringido del término, el límite superior de la frecuencia sería de 1 GHz, por encima del cual hablamos de microondas y ondas milimétricas.

Cuando hablamos de radio, la mayoría de la gente piensa en la radio FM, que usa una frecuencia de alrededor de 100 MHz. Entre la radio y el infrarrojo encontramos la región de las microondas –con frecuencias de 1 GHz a 300 GHz, y longitudes de onda de 30 cm a 1 mm.

El uso más popular de las microondas puede ser el horno de microondas que, de hecho, trabaja exactamente en la misma región que los estándares inalámbricos.

Esta región es llamada banda ISM, por su sigla en inglés (ISM Band), Y en español ICM, que significa Industrial, Científica y Médica.

La mayoría de las otras regiones del espectro electromagnético están estrictamente controladas mediante licencias, siendo los valores de las licencias un factor económico muy significativo.

En muchos países, el derecho de uso de una porción del espectro se ha vendido a las compañías de telecomunicaciones en millones de dólares.

En la mayoría de los países, las bandas ISM han sido reservadas para el uso sin licencia, por lo tanto no se debe pagar para usarlas.

Las frecuencias más importantes para nosotros son las de 2 400 – 2 495 MHz, usadas por los estándares 802.11b y 802.11g (correspondientes a longitudes de onda de alrededor de 12.5 cm), y las de 5.150 – 5.850 GHz

(correspondientes a longitudes de onda de alrededor de 5 a 6 cm), usadas por 802.11a. El estándar 802.11n puede trabajar en cualquiera de estas bandas. Vea el capítulo Familia WiFi para una revisión de estándares y frecuencias. También puede encontrar más información sobre la parte de radio del espectro electromagnético en el capítulo Espectro Radioeléctrico.

### **Teoría de antenas.**

El IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) define una antena como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas”. Dicho de otro modo, la antena es la transición entre un medio guiado y el espacio libre.

La comunicación entre un transmisor y un receptor separados una distancia  $R$  puede realizarse mediante:

Una línea de transmisión con pérdidas proporcionales a  $e^{-\alpha R}$ , donde  $\alpha$  es la constante de atenuación de la línea.

Dos antenas con visión directa y con pérdidas proporcionales a  $1/R^2$ .

Son diversos los factores que intervienen a la hora de decidir la utilización de una línea de transmisión o antena pero, de forma general:

- Se utilizan líneas de transmisión para bajas frecuencias y pequeñas distancias.
- Se utilizan antenas para altas frecuencias y largas distancias.

Las ventajas que presentan las líneas de transmisión frente a las antenas son que no están sometidas a interferencias, como sí lo están los sistemas de radio, y que se logra un aumento del ancho de banda extendiendo otra línea. Los inconvenientes de las líneas de transmisión son el elevado coste y el tiempo de infraestructura para enlaces de larga distancia.

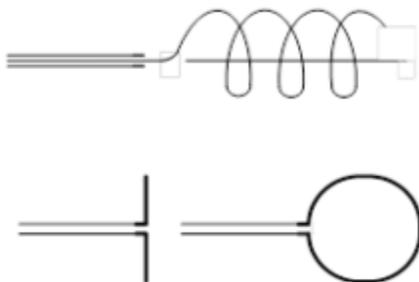
Algunas de las aplicaciones en las que se utilizan las antenas son:

- Comunicaciones móviles: aviones, barcos, vehículos, naves espaciales.
- Comunicaciones personales/redifusión: teléfono celular, radio y televisión.
- Aplicaciones de no comunicación: sensor remoto: radar, radiometría.

-Clasificación según su geometría:

Antenas de cable; como, por ejemplo, los dipolos, monopolos, espiras, helicoides. Las antenas de televisión que habitualmente encontramos en los edificios están formadas por un conjunto de dipolos.

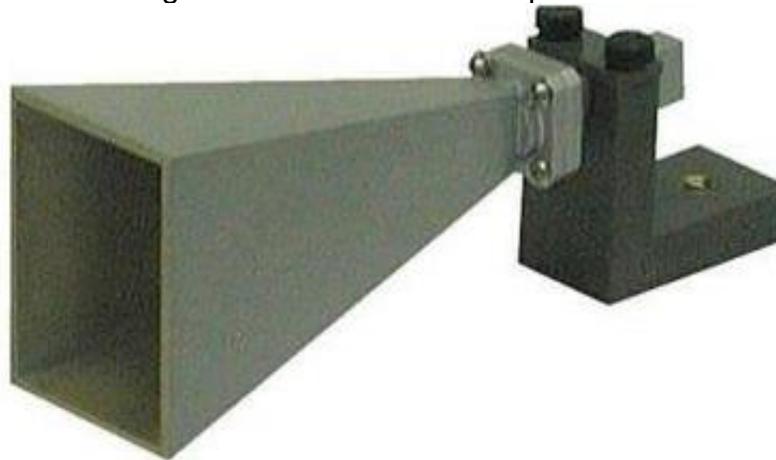
Figura N° 4. 3 Antenas de hilo



FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoría de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

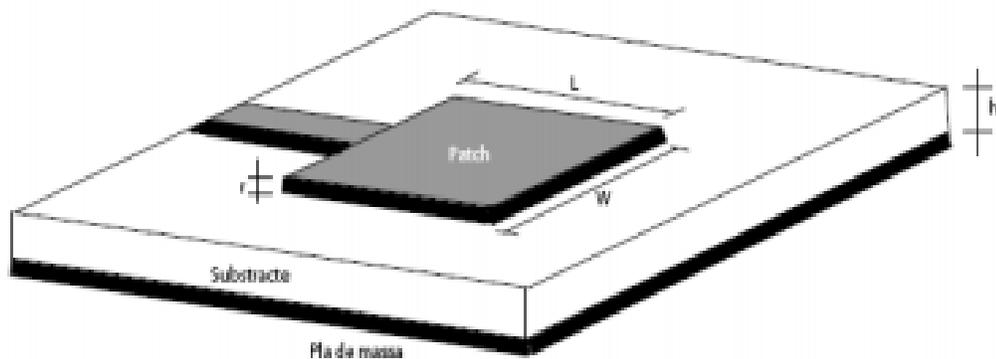
Antenas de apertura como, por ejemplo, las bocinas (Figura 4.4), las ranuras y las antenas microstrip (Figura 4.5).

Figura N° 4. 4 Antenas de apertura



FUENTE: República Bolivariana de Venezuela Ministerio del Poder Popular para la Defensa Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Ingeniería. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/4202779/> Consultado el 25 septiembre 2018.

Figura N° 4. 5 Antenas microstrip: consisten en un parche metálico sobre un sustrato y un plano de masa por debajo.



FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoría de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

Reflectores, antenas formadas por un reflector, generalmente con perfil parabólico, y la antena situada en el foco del reflector. Las grandes antenas de observación del espacio son un ejemplo de ellas (Fig. 4.6).

Figura N° 4. 6 Reflector parabólico para aplicaciones radioastronómicas.

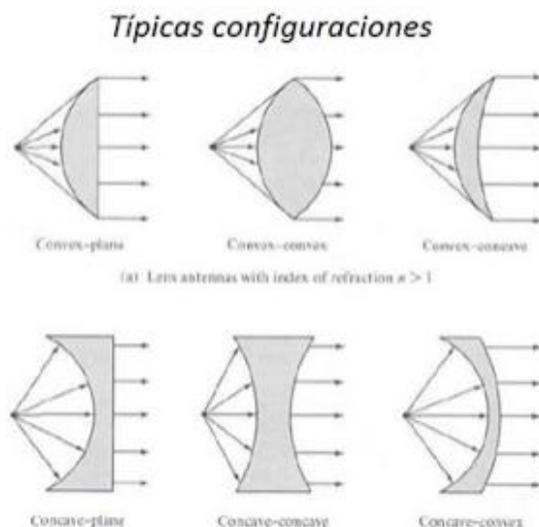


FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoria de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

Lentes, formadas, tal y como indica su nombre, por una lente que tiene como objetivo conformar la radiación de una determinada forma (Fig. 4.7).

El lente tiene una forma parabólica que funciona debido a las propiedades geométricas: cualquier rayo entrante que sea paralelo al eje del plato se reflejará en un punto central, o "foco"

Figura N° 4. 7 Reflector parabólico para aplicaciones radioastronómicas.



FUENTE: Rojas M. Tipos de Antenas. Internet: [Diseno.antenas.blogspot.com](http://Diseno.antenas.blogspot.com). 2018. Disponible en: <http://disenoantenas.blogspot.com/2013/08/tipos-de-antenas.html>. Consultado el 25 de setiembre.

-Clasificación según su comportamiento:

Antenas de banda ancha; cuando las antenas pueden trabajar en un margen muy amplio de frecuencias. Un ejemplo lo tenemos en antenas de bocina para realizar medidas radioeléctricas en cámara anecoica (cámara en la que se miden las antenas y que simula un entorno de espacio libre). Con una bocina podemos cubrir un gran margen de frecuencia; por ejemplo, de 800 MHz a 5 GHz, sin necesidad de cambiar de antena.

Antenas miniatura; cuando la antena presenta unas dimensiones mucho más pequeñas que la longitud de onda. Veremos que la dimensión de una antena está directamente relacionada con su comportamiento electromagnético. Si se realiza una antena que tiene dimensiones pequeñas en términos de la longitud de onda, sus características se verán alteradas. Las antenas de terminales móviles son un modelo.

Antenas multifrecuencia: antenas que pueden operar con unas características muy similares para diferentes sistemas de telecomunicación. Las antenas de estación base y terminales móviles que operan a GSM900 y GSM1800 son casos de antenas multifrecuencia.

### **Parámetros de los equipos de transmisores.**

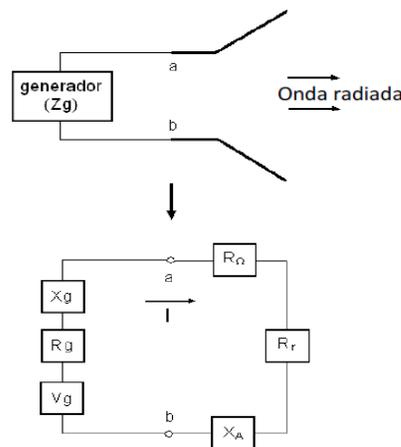
#### **-Impedancia de entrada**

Una antena es un dispositivo de un puerto y, por lo tanto, presenta una impedancia de entrada que no es más que la relación entre la tensión y la corriente presente en el puerto de entrada. La impedancia de una antena tiene una parte real y otra imaginaria, y ambas dependen de la frecuencia. Se dice que la antena es resonante a una frecuencia  $f_0$  si la parte imaginaria de la impedancia de entrada en  $f_0$  es cero. Una antena presenta generalmente muchas resonancias, que denominamos “modos”.

Habitualmente interesa que la antena esté adaptada al generador. De esta manera la potencia transmitida hacia el generador pasa a la antena y ésta se radia al espacio. Si la antena no está adaptada, parte de la potencia incidente

que procede del generador se reflejará hacia el mismo. Esto podría dañar las etapas de amplificación del generador si las potencias de transmisión fuesen elevadas. Por lo tanto, por lo general interesa que la antena esté adaptada. Analizamos el problema de adaptación de impedancias cuando hablemos de los parámetros en recepción de la antena.

Figura N° 4. 8 Antena en modo transmisión y equivalente de Thevenin



FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoria de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

Una antena es un dispositivo de un punto, por lo que presenta una impedancia de entrada que no es más que la relación entre la tensión y la corriente presente en este puerto.

La impedancia de entrada tiene una parte real ( $R(\omega)$ ) y una parte imaginaria ( $X(\omega)$ ); ambas dependientes de la frecuencia. Este parámetro también se ve afectado por otras antenas u objetos cercanos, pero de momento se asume que la antena se encuentra aislada.

$$z_A = R(\omega) + jX(\omega)$$

$$z_A = R_r(\omega) + R_\Omega(\omega) + jX(\omega)$$

$R_r$ : Resistencia de radiación. Representa la potencia o energía que la antena radia hacia el espacio libre. Se define  $R_r$  como el valor de la resistencia que disiparía la misma potencia que la radiada por la antena.

$$P_r = \frac{1}{2} I^2 R_r$$

$R_\Omega$ : Resistencia de pérdidas. Representa las pérdidas que se producen en la antena, en los conductores y/o dieléctricos, aunque en las antenas de ferrita también se producen pérdidas en el núcleo. En la mayoría de antenas  $R_\Omega \ll R_r$ . Sin embargo,  $R_\Omega$  es significativa en antenas eléctricamente pequeñas, donde las dimensiones son mucho más pequeñas que una longitud de onda.

$$P_\Omega = \frac{1}{2} I^2 R_r$$

La potencia entregada a la antena será la suma de las dos anteriores:

$$P_A = P_r + P_\Omega = \frac{1}{2} I^2 R_r$$

$X_A$ : Parte reactiva de la impedancia de entrada. Se dice que la antena es resonante a una frecuencia  $F_0$  si la parte imaginaria es nula ( $X_A = 0$ ). Una antena presenta muchas resonancias.

La parte real de la impedancia de entrada ( $R_r$ ) representa la densidad de potencia activa que la antena radia en zonas del espacio alejadas de ésta

(campo lejano). En este sentido  $R_{\Omega}$  representa la parte de potencia disipada en forma de calor. La parte imaginaria de la impedancia de entrada ( $X_A$ ) representa la densidad de potencia reactiva que se encuentra almacenada en zonas alrededor de la antena (campo cercano). Como veremos en el tercer capítulo, la distancia a la antena para la cual las densidades de potencia activa y reactiva son iguales para el caso de un dipolo ideal es de  $\lambda/2\pi$ .

La impedancia de entrada es un parámetro de gran trascendencia ya que condiciona el valor de tensión que debe suministrar el generador para obtener una corriente determinada en la antena y, en consecuencia, una potencia radiada concreta:

- Si  $X_A$  aumenta, implica el aumento de la tensión del generador para obtener una corriente apreciable.
- Si  $R_r$  disminuye, la corriente tiene que ser muy grande para obtener una potencia radiada apreciable.

### **Intensidad de radiación**

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar con una cierta direccionalidad, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio. Por lo tanto, será conveniente cuantificar este comportamiento con algún parámetro que permita establecer una comparación entre diferentes antenas.

Previo a este paso, se tiene que definir el marco de referencia en el que se encuentra situada la antena con la que se quiere caracterizar. Para dicho efecto, se utiliza un sistema de coordenadas que permite definir cómodamente una dirección en el espacio: coordenadas esféricas. El sistema de coordenadas esféricas define los vectores unitarios  $\hat{r}, \hat{\theta}, \hat{\phi}$  que forman una base ortogonal.

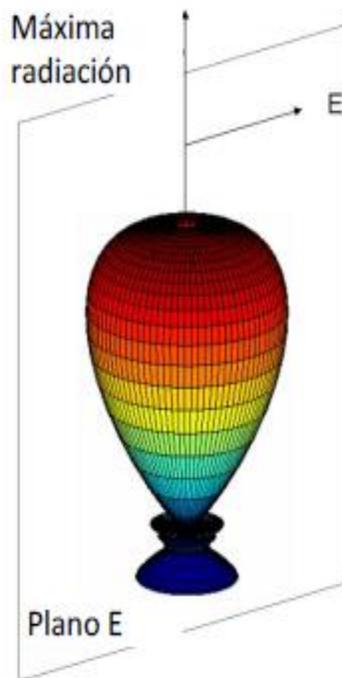
La onda electromagnética radiada por una antena se compone de una intensidad de campo eléctrico  $E$  [V/m] y una intensidad de campo magnético  $H$  [H/m], ambas magnitudes vectoriales ligadas por las ecuaciones de Maxwell.

### **Diagrama de radiación**

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las diferentes direcciones del espacio (sistema de coordenadas esférico) a una distancia fija. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia, expresa el campo eléctrico en función de las variables angulares  $\theta$  y  $\phi$ . El diagrama de radiación cobra relevancia en la zona de campo lejano, es decir, en la zona donde la forma del diagrama es invariante en función de la distancia. Como el campo magnético se deriva directamente del campo eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico.

En campo lejano, la densidad de potencia es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico, algo que hace que la representación gráfica de un diagrama de potencia contenga la misma información que un diagrama de radiación de campo.

Figura N° 4. 9 Diagrama de radiación 3D. Plano E.



FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoría de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

En antenas linealmente polarizadas se definen los planos E y H:

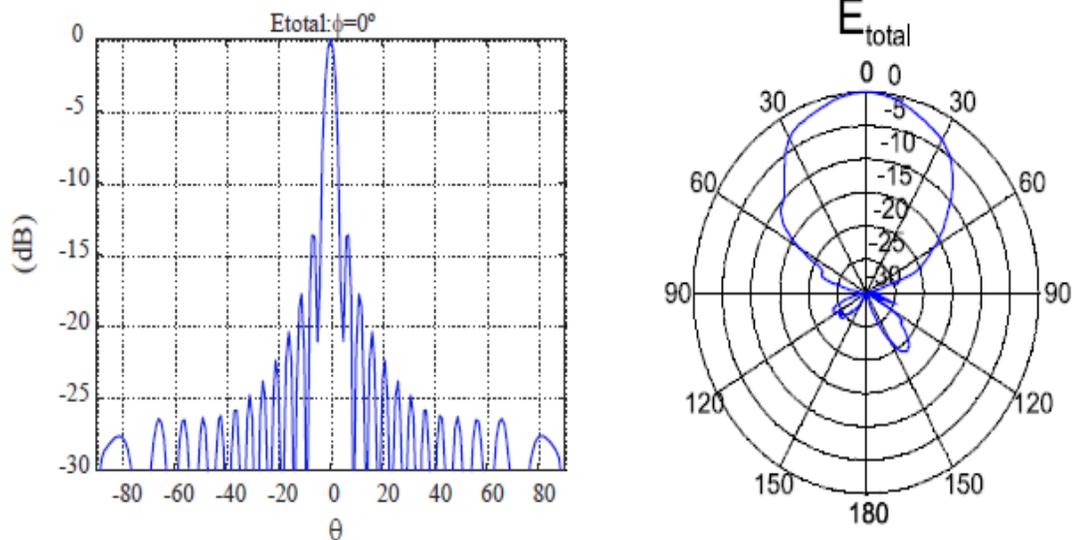
- Plano E: formado por la dirección de máxima radiación y el campo eléctrico en esta dirección.

- Plano H: formado por la dirección de máxima radiación y el campo magnético en esta dirección.

Ambos planos son perpendiculares (en campo lejano, el campo eléctrico y el magnético se comportan como una onda plana, son perpendiculares) y su intersección determina una línea que define la dirección de máxima radiación de la antena.

El diagrama de radiación de una antena suele representarse mediante cortes extraídos del diagrama tridimensional para una  $\phi$  constante y/o una  $\theta$  constante (planos principales). Estos cortes se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas.

Figura N° 4. 10 Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas y polares.



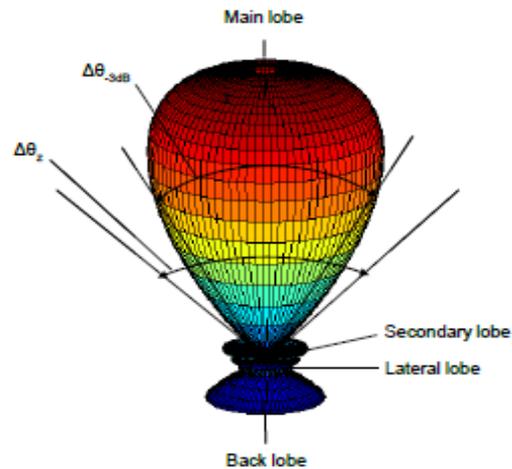
FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoría de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

El campo se puede representar de forma absoluta o relativa (normalizando el valor máximo a la unidad). También es bastante habitual la representación del diagrama en escala logarítmica. Un diagrama relativo logarítmico tiene el máximo en 0 dB y el resto de direcciones del espacio con dB negativos. Cuando la escala es logarítmica, los diagramas de campo y de potencia son idénticos.

Algunas definiciones relacionadas con el diagrama de radiación:

- Lóbulo principal: zona en la que la radiación es máxima.
- Lóbulos laterales: zona que rodea los máximos de menor amplitud.
- Lóbulo secundario: lóbulo lateral de mayor amplitud
- Lóbulo posterior: zona diametralmente opuesta al lóbulo principal.
- Ancho de haz a mitad de potencia ( $\Delta_{\theta-3dB}$ ): separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia toma el valor mitad del máximo. En campo eléctrico en 0'707 del máximo.
- Ancho de haz entre ceros ( $\Delta_{\theta z}$ ): separación angular en las direcciones del espacio en las cuales el lóbulo principal toma un valor nulo.
- Relación delante-detrás (D/D): cociente entre el lóbulo principal y el lóbulo posterior [dB].
- Relación lóbulo principal a secundario (NLPS): cociente entre el lóbulo principal y el lóbulo secundario, que suele ser adyacente al lóbulo principal [dB].

Figura N° 4. 11 Parámetros del diagrama de radiación



FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoría de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

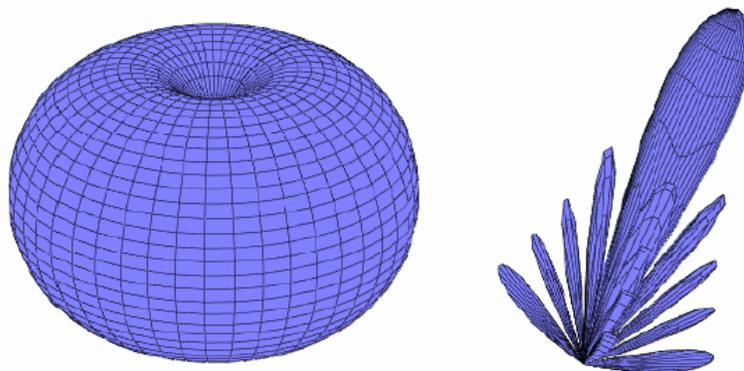
Los rayos procedentes de las diferentes partes de una antena llegan al campo lejano con diferente magnitud y fase a causa de las variaciones de corriente sobre la estructura del elemento radiante. La interferencia de estos rayos en las diferentes direcciones del espacio puede ser constructiva o destructiva, de aquí que aparezcan zonas donde la radiación es mayor y otros donde es menor (lóbulos).

Un radiador isotrópico se define como una hipotética antena sin pérdidas que radia de la misma manera en todas direcciones. Se adopta este modelo de radiación como referencia para expresar la directividad de otras antenas. La potencia radiada por una antena isotrópica es:

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \gamma(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi = 4\pi r^2 \gamma$$

Una antena direccional tiene la propiedad de radiar o recibir ondas electromagnéticas de manera más eficiente en unas direcciones que en otras. Si un diagrama de radiación presenta simetría de revolución en torno a un eje, se dice que la antena es omnidireccional: toda la información contenida en el diagrama tridimensional puede representarse en un único corte que contenga el eje.

Figura N° 4. 12 Diagrama de radiación de la antena isotrópica

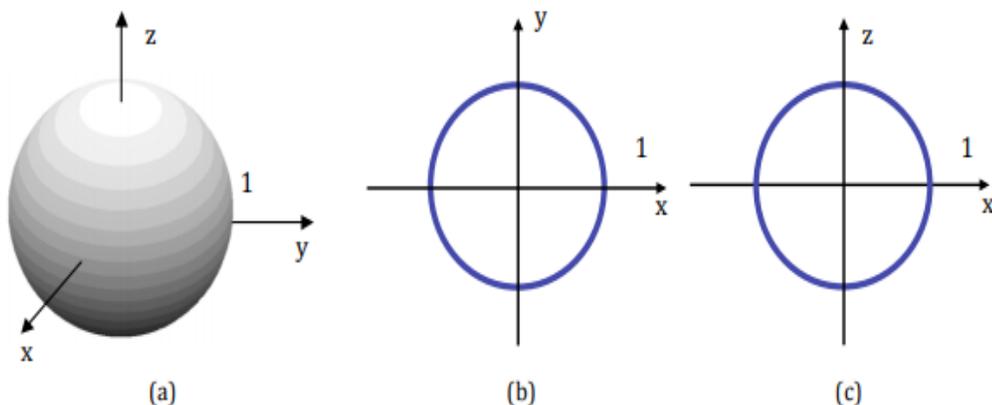


FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoria de Antenas. 1st ed. España: Lluís Vicent; 2008.

Un parámetro que se utiliza para juzgar la eficiencia del haz (beam efficiency), que es la relación entre la potencia transmitida dentro de un cono de ángulo  $\alpha_1$  y la potencia total transmitida por la antena:

$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\alpha_1} \gamma(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \gamma(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi}$$

Figura N° 4. 13 Diagrama de radiación de la antena isotrópica en (a) 3 dimensiones, (b) el plano horizontal y (c) en el plano vertical.



FUENTE: Murillo Fuentes, J. (2007). Fundamentos de radiación y radiocomunicación (2nd ed., p. 52). [Sevilla]: [Escuela Técnica Superior de Ingenieros].

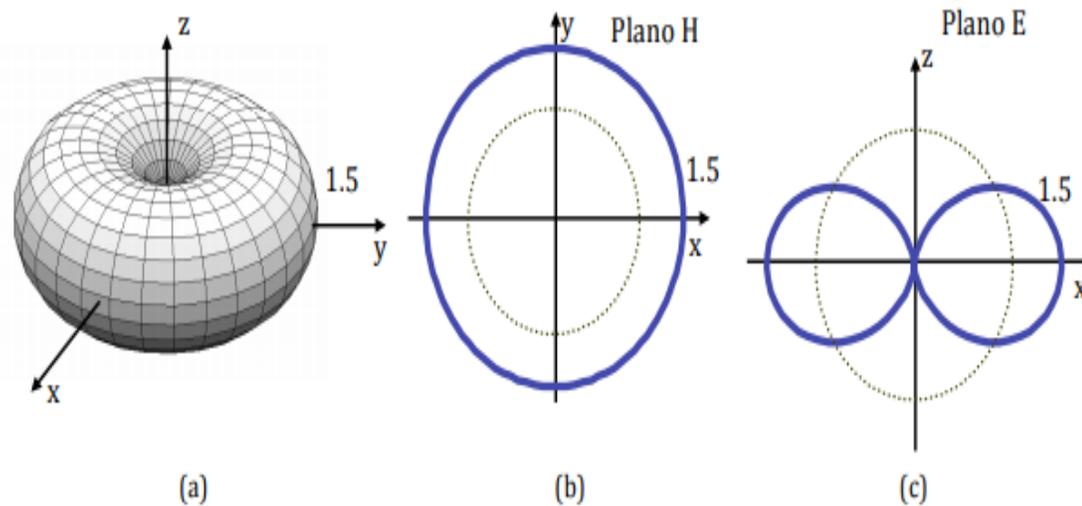
El diagrama de radiación para la antena isotrópica y el dipolo elemental se representan en la Figura 4.12 y Figura 4.13 respectivamente. En esta última figura, a cualquier corte vertical se le denomina plano E, puesto que el campo eléctrico está contenido en el mismo. Por otro lado, si el corte es horizontal, se denomina plano H. Ahora este plano contiene al campo magnético.

Se ha representado el patrón de radiación como el valor de la ganancia directiva en tres dimensiones o en cortes por planos. Esta última representación se denomina también "polar".

Cada punto consta de un ángulo, azimut o elevación generalmente, y una distancia al centro que es el valor del patrón de radiación. Este valor puede ser la ganancia directiva, pero sería posible utilizar el vector de Poynting, la

intensidad de radiación o el campo eléctrico. Por otro lado, aparte de las representaciones 3D o por planos ya propuestas, se puede representar alguno de estos valores, en unidades naturales o logarítmicas, frente al azimut o la elevación, pero utilizando unos ejes cartesianos. En estos diagramas es más fácil estudiar el ancho de los lóbulos del patrón de radiación. En la Figura 4.14 se incluye este tipo de diagrama de radiación para el dipolo elemental.

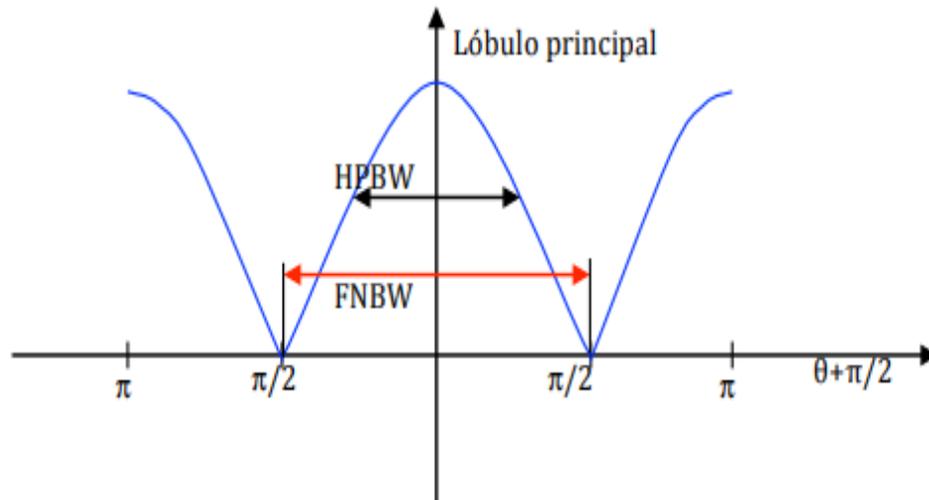
Figura N° 4. 14 Diagrama de radiación del dipolo elemental en (a) 3 dimensiones,(b) el plano horizontal y (c) en el plano vertical. Superpuesto en línea punteada el de la antena isótropa



FUENTE: Murillo Fuentes, J. (2007). Fundamentos de radiación y radiocomunicación (2nd ed., p. 52). [Sevilla]: [Escuela Técnica Superior de Ingenieros].

En la figura 4.14 se han identificado el ancho de haz mitad, o de 3dB, (HPBW, Half Power Beamwidth) o el ancho de haz entre nulos (FNBW, First Null Beamwidth).

Figura N° 4. 15 Patrón de radiación del dipolo elemental en función de la elevación.



FUENTE: Murillo Fuentes, J. (2007). Fundamentos de radiación y radiocomunicación (2nd ed., p. 53). [Sevilla]: [Escuela Técnica Superior de Ingenieros].

### **Ganancia directiva**

Cuando en dos antenas se tiene la misma potencia total radiada y una de ellas radia menos potencia en cierta dirección entonces radiará más en otras direcciones por lo que se define la ganancia directiva como la razón de la densidad de potencia ( $W/m^2$ ) radiada en esa dirección a cierta distancia determinada, a la densidad de potencia que se radiara a la misma distancia por una antena isotrópica radiando la misma potencia total. Esta ganancia direccional puede ser diferente en diferentes direcciones.

Para determinar la ganancia directiva de una antena dada, es necesario calcular o medir la densidad de potencia en la dirección requerida (y a una cierta distancia) y entonces calcular la densidad de potencia (a la misma

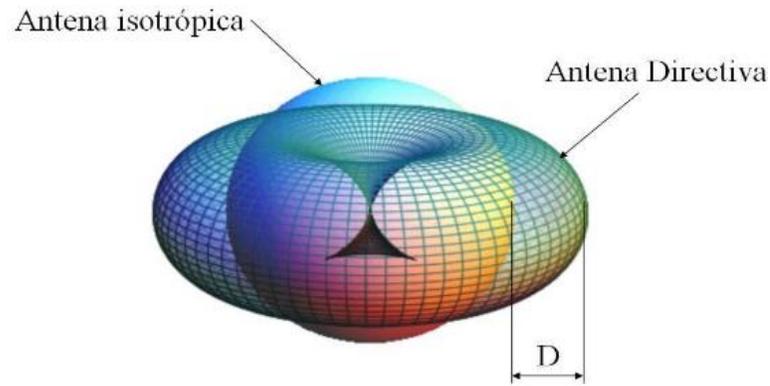
distancia) para una antena isotrópica que radie la misma potencia que la antena dada.

### **Directividad**

La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esta misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena transmisora.

De manera gráfica, podemos decir que si una antena es muy directiva, es capaz de concentrar la potencia que radia (o recibe) en una determinada dirección. Por ejemplo, una antena tipo reflector parabólico para observación astronómica tiene mucha directividad (50dB). Esto le permite apuntar en una determinada dirección para recibir la señal y no recibir otras direcciones. Otro Las antenas de televisión que encontramos en los edificios, denominadas Yagi-Uda, pueden ponderar la energía procedente de una determinada dirección (donde se encuentra la fuente que radia) y no recibir la de otras.

Figura N° 4. 16 Directividad: la radiación isotrópica (D=1, mínima directividad posible) se utiliza como referencia



FUENTE: Ecuación de transmisión. (2018). Consultado en: [http://www.upv.es/antenas/Tema\\_1/ecuacion\\_de\\_transmision.htm](http://www.upv.es/antenas/Tema_1/ecuacion_de_transmision.htm)

Una antena con una directividad superior a la isotrópica radiará más potencia en la dirección del máximo, en detrimento de otras direcciones, donde radiará menos.

$$D_{(\theta,\varphi)} = \frac{\gamma(\theta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi r^2}}$$

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la directividad se refiere a la dirección de máxima radiación:

$$D_{(\theta,\varphi)} = \frac{\gamma_{max}}{\frac{P_r}{4\pi r^2}}$$

Si una antena es muy directiva, es capaz de concentrar la potencia que radia (o recibe) en una determinada dirección.

Como puede observarse en las ecuaciones anteriores, la directividad puede obtenerse a partir del conocimiento del diagrama de radiación de la antena. Si se define el diagrama de radiación normalizado mediante:

$$t(\theta, \varphi) = \frac{\gamma(\theta, \varphi)}{\gamma_{max}} = \frac{K_{(\theta, \varphi)}}{K_{max}} = \frac{D_{(\theta, \varphi)}}{D}$$

La expresión de la directividad puede escribirse de la forma:

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} t_{(\theta, \varphi)} d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_e}$$

Y  $\Omega_e$  se define como ángulo sólido equivalente:

$$\Omega_e = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} t_{(\theta, \varphi)} d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} t_{(\theta, \varphi)} \sin\theta d\theta d\Omega$$

### **Ganancia de la antena**

La directividad es una magnitud que describe sólo propiedades de direccionalidad de la antena, y depende únicamente del patrón de radiación. Otro parámetro importante que está directamente relacionado con la directividad es la ganancia de la antena.

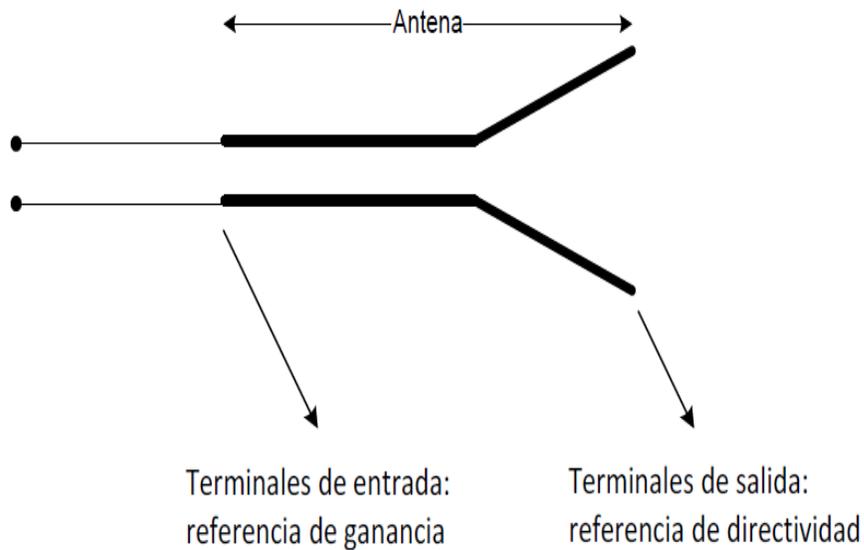
Es importante subrayar que tanto la directividad como la ganancia son funciones que dependen de las coordenadas esféricas  $\theta$  y  $\varphi$ . Solemos referirnos a directividad y ganancia máxima cuando no es más que el máximo de la función.

Su definición es similar, pero la comparación no se establece con la potencia radiada, si no con la potencia entregada a la antena. La ganancia pone de manifiesto el hecho de que una antena real no radia toda la potencia que se le suministra, si no que parte de ésta se disipa en forma de calor ( $R_{\Omega}$ ). Por lo tanto, la ganancia y la directividad están relacionadas por la eficiencia de la antena:

$$G_{(\theta, \varphi)} = \frac{\gamma(\theta, \varphi)}{\frac{P_A}{4\pi r^2}} = \frac{P_r}{P_A} \cdot \frac{\gamma(\theta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi r^2}} = n_r \cdot D(\theta, \varphi)$$

$$G = n_r \cdot D$$

Figura N° 4. 17 Ganancia y directividad en las terminales de la antena



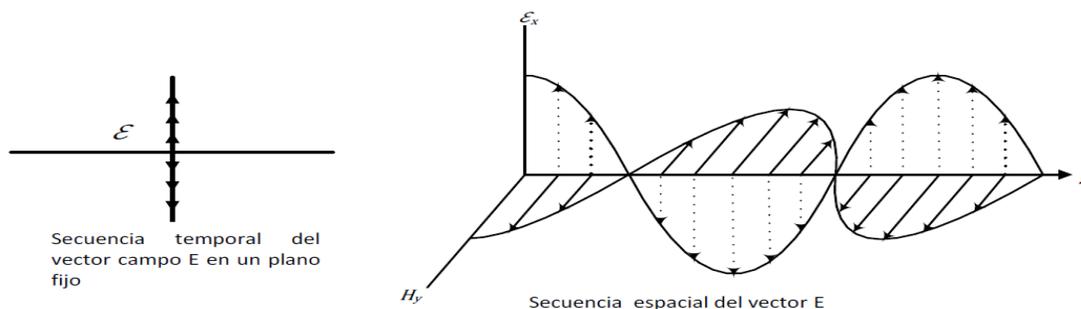
FUENTE: Murillo Fuentes, J. (2007). Fundamentos de radiación y radiocomunicación (2nd ed., p. 56). [Sevilla]: [Escuela Técnica Superior de Ingenieros].

## Polarización

La polarización de una antena en una dirección dada se define como “la polarización de la onda radiada cuando ésta se encuentra excitada”. La polarización generalmente se define en la dirección en la que la antena radia el máximo de potencia, ya que los enlaces se diseñan para que sean eficientes en la dirección de máxima radiación. La polarización de la onda radiada varía con la dirección respecto al centro de la antena, por lo que diferentes partes del diagrama de radiación pueden tener diferentes polarizaciones.

En cada punto del espacio existe un vector de campo eléctrico  $\vec{E}(\vec{r},t)$ ; función de la posición y el tiempo. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, con el paso del tiempo, por el extremo del vector de campo eléctrico en un punto del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

Figura N° 4. 18 Onda polarizada verticalmente.



FUENTE: Murillo Fuentes, J. (2007). Fundamentos de radiación y radiocomunicación (2nd ed., p. 58). [Sevilla]: [Escuela Técnica Superior de Ingenieros].

## Zona de fresnel

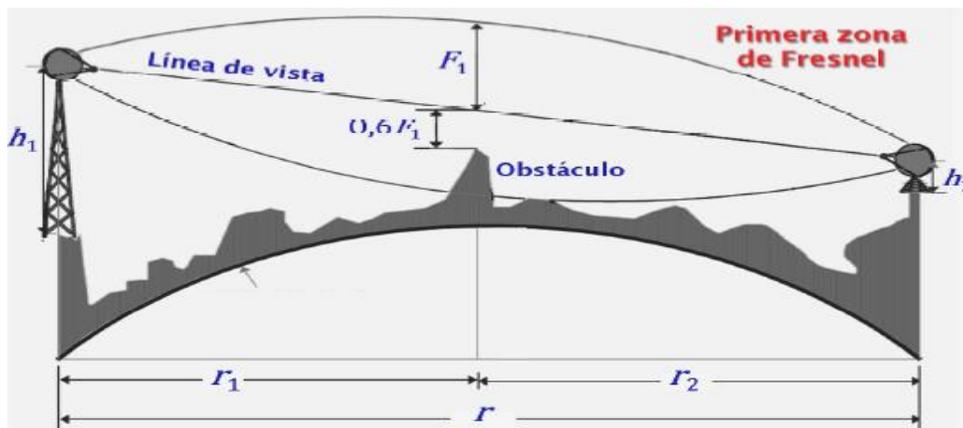
La difracción de las señales electromagnéticas en las partículas del aire produce los denominados elipsoides o zonas de Fresnel. Para fines de estudio, las zonas de Fresnel se consideran como una familia de elipsoides que se forman en el medio de propagación por donde las señales de RF viajan de emisor a receptor. Una zona de Fresnel está definida por los límites donde las ondas interiores llegan al receptor con la misma fase de la señal transmitida. La fase de las señales en las zonas de Fresnel están, de esta manera, alternadas: en fase (primera zona) otra en contrafase (segunda zona), otra en fase (tercera zona), etc. El radio de la zona de Fresnel depende de la longitud de onda (  $\lambda$  ) y de la distancia entre las antenas. Para señales con longitud de onda baja la diferencia entre distintos caminos dará una zona de contrafase más rápidamente y con ello el radio de Fresnel será menor. Si  $d_1$  y  $d_2$  son las distancias de los sitios al punto donde se desea conocer la zona de Fresnel, propio del obstáculo más pronunciado en el trayecto de propagación, el radio (en metros) de la primera zona de Fresnel se calcula con la ecuación:

$$rf = 547 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f_a}}$$

Donde  $d$  ( $=d_1+d_2$ ) es la distancia total del enlace. Las distancias  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d$  se toman en Km y la frecuencia de la portadora en MHz.

El lóbulo que se genera para la propagación de la señal y es dependiente de la frecuencia. Se recomienda mantener el 60% de la primera zona de Fresnel sin obstrucciones para obtener enlaces óptimos.

Figura N° 4. 19 Representación de primera zona de Fresnel



FUENTE: Anguera J, Perez A. Teoria de Antenas. (1st ed, p. 83). España: Lluís Vicent; 2008.

## Diseño del sistema

Tabla N° 4. 2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN PRINCIPAL (SCP - BACKBONE)

Tabla: Tabla de estaciones Cieneguilla (Backbone 23 GHz)					
ITEM	SUBSISTEMA	ESTACION	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD
1	<b>SISTEMA PRINCIPAL</b>	RP REPETIDOR	Manchay	12° 10' 10.58"S	76° 51' 42.45"O
2		CP01 -backbone	Manchay	12° 9' 34.45"S	76° 52' 4.98"O
3		RP IH1	Manchay	12° 8' 33.94"S	76° 52' 23.61"O
4		RP 10	Manchay	12° 7' 37.25"S	76° 52' 6.26"O
5		CP2	Manchay	12° 7' 3.92"S	76° 52' 23.65"O
6		RP7	Manchay	12° 5' 44.63"S	76° 52' 15.33"O
7		RP15	Manchay	12° 6' 7.98"S	76° 53' 6.58"O
8		RP8	Manchay	12° 5' 24.16"S	76° 53' 2.15"O
9		REP CERRO PLANICIE	La Molina	12° 4' 14.66"S	76° 55' 48.81"O
10		ATARJEA	Santa Anita	12° 1' 54.37"S	76° 58' 44.62"O
11		CP01	Cieneguilla	12° 7' 39.83"S	76° 48' 41.99"O
12		PP-06	Cieneguilla	12° 6' 12.07"S	76° 48' 6.32"O
13		PP-04	Cieneguilla	12° 5' 47.67"S	76° 46' 50.96"O
14		RE-01	Cieneguilla	12° 5' 23.95"S	76° 46' 8.48"O

El sistema de Comunicaciones de la red de telemetría utiliza una infraestructura propia de red microondas en la banda licenciada de 23 GHz usando tecnología MPLS (200 Mbps) las mismas que están interconectadas con todos los Centros de Servicio de SEDAPAL.

Figura N° 4. 20 RED MICROONDAS – 23 GHZ 200 MBPS MPLS

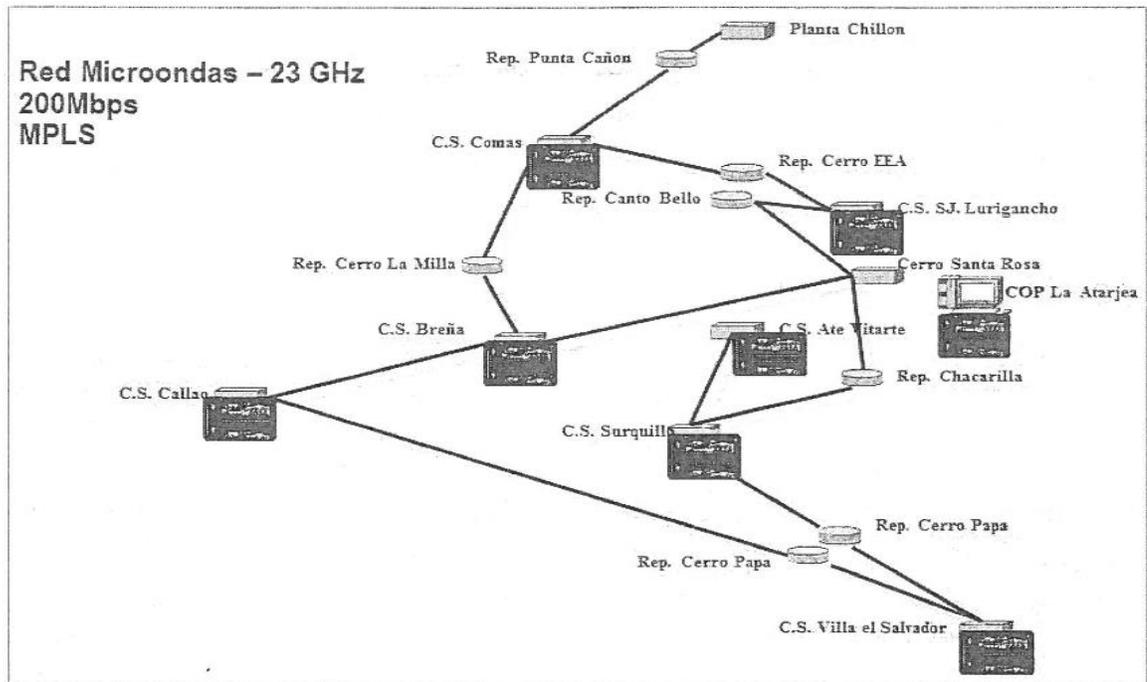
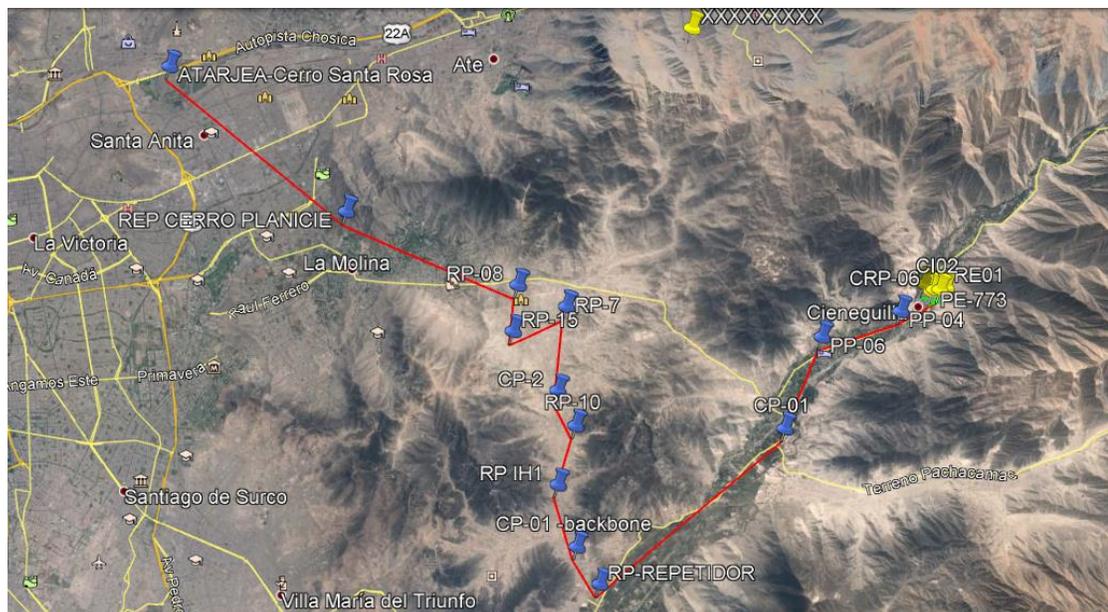


Figura N° 4. 21 Red Backbone desde la estación Santa Rosa (Atarjea) hasta nuestra Estación maestra RE-01 (Cieneguilla).



El sistema SCADA de Sedapal debe monitorear y controlar los equipos de control de las estaciones remotas de nuestro esquema, llegando por toda la red troncal en la banda de 23GHz hasta la estación maestra.

Tabla N° 4. 3 Tabla de estaciones del Esquema Cieneguilla

Tabla : Tabla de estaciones del Esquema Cieneguilla					
1	SUBSISTEMA	RE-01	Cieneguilla	12° 5'23.95"S	76°46'8.48"O
2		PP-03	Cieneguilla	12° 5'21.39"S	76°46'27.74"O
3		CRP-06	Cieneguilla	12° 5'26.82"S	76°46'18.45"O
4		CI-02	Cieneguilla	12° 5'26.92"S	76°46'13.42"O
5		PE-773	Cieneguilla	12° 5'28.73"S	76°46'20.81"O

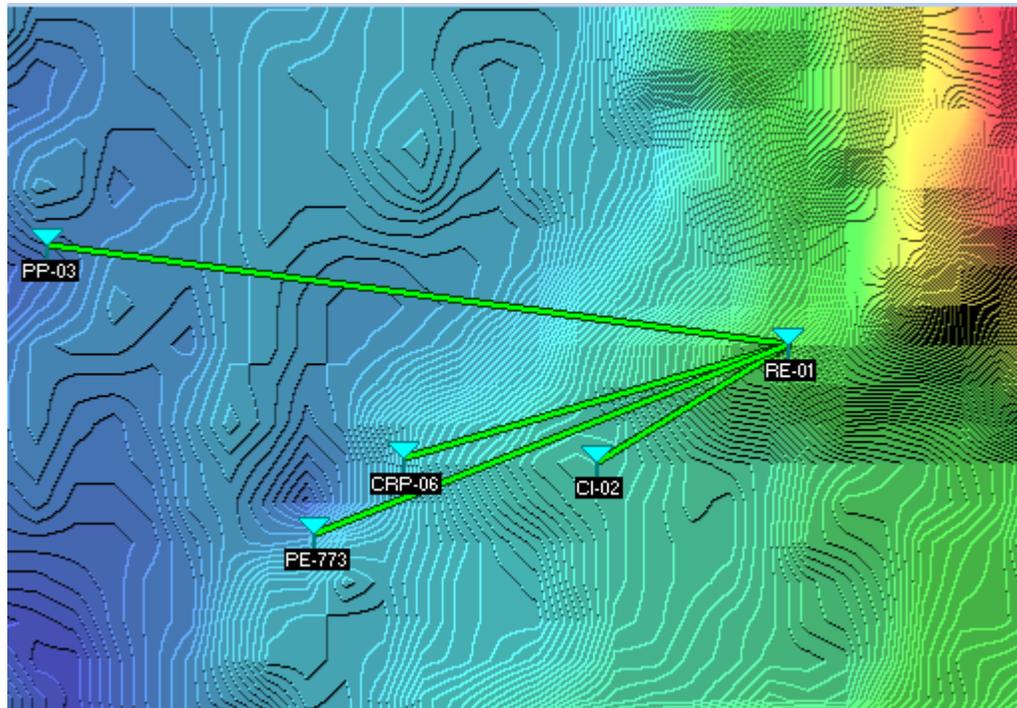
Topología de nuestro sistema de comunicación local, se elige la topología tipo estrella por ser más práctica a nivel de implementación y sobre todo de costos.

Figura N° 4. 22 Topología tipo estrella para el diseño de radioenlaces en la banda de 400MHz



Para el diseño de los radioenlaces se recurrió al software Radio mobile, presentamos la topología de diseño.

Figura N° 4. 23 Topología de diseño a través del software RADIO MOBILE



### 4.3. Población y muestra

Cieneguilla se ubica al Sur Este de la capital, donde coinciden dos dinámicas, la de crecimiento urbano y la del valle del río Lurín. Se ubica entre los 600 y los 1000 m.s.n.m. y ocupa una superficie de 208 km<sup>2</sup> (equivalente al 8.55 % de la superficie total de Lima Metropolitana).

Su territorio está dividido en:

- Parcelación (1º, 2º y 3º etapa).

- Centros poblados rurales de Tambo Viejo, Villa Toledo y Huaycán.
- Centros poblados de La Libertad, Río Seco y Los Ficus.
- Asentamientos Humanos de Magda Portal, Inmaculada Concepción, Sol Radiante y Nueva Gales.
- Agrupamientos: El Molle, Las Cumbres y La Frontera.

Figura N° 4. 24 Perfil Cieneguilla



El estudio será realizado en el siguiente subsistema, que contiene 5 estaciones a enlazar:

- Reservorios Existente (RE): 1
- Pozo Proyectoado (PP): 1
- Pozos Existente (PE): 1
- Cámaras Reductoras de Presión (CRP): 1
- Cámaras de Ingreso (CI): 1

Las coordenadas de las estaciones son las siguientes:

Tabla N° 4. 4 Ubicación geográfica de las estaciones

Tabla : Tabla de estaciones del Esquema Cieneguilla					
1	SUBSISTEMA	RE-01	Cieneguilla	12° 5'23.95"S	76°46'8.48"O
2		PP-03	Cieneguilla	12° 5'21.39"S	76°46'27.74"O
3		CRP-06	Cieneguilla	12° 5'26.82"S	76°46'18.45"O
4		CI-02	Cieneguilla	12° 5'26.92"S	76°46'13.42"O
5		PE-773	Cieneguilla	12° 5'28.73"S	76°46'20.81"O

#### 4.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

El tipo de técnica de recolección de datos a utilizarse es la observación directa o participante estructurada. Se realizará la investigación tomando criterios de toma de datos y procedimientos establecidos para el monitoreo del espectro radioeléctrico y tráfico de datos.

#### 4.5. Procedimientos de recolección de datos

Por la naturaleza de la presente investigación se tomará en cuenta como procedimiento la recolección de datos en campo y para el análisis de espectro radioeléctrico:

- Instalamos la antena Yagi de 400MHz. Procedemos a la instalación de nuestra antena Yagi, con el azimuth correspondiente a la arquitectura de comunicaciones para poder hacer el análisis de espectro.
- Realizamos el cableado entre la antena y el analizador de Espectro.

- Energizamos nuestro Analizador de Espectro a una toma de corriente de 220V/60Hz, que será suministrado por un propietario de la zona, estación existente o desde un grupo electrógeno.
- Insertamos el USB, encender el analizador y realizar la siguiente configuración al equipo:

Tabla N° 4. 5 Cronograma de análisis

Frecuencia Central	425 MHz
Span	50 MHz
RBW	30 KHz
VBW	100 Hz
SWT	min (aprox. 4.04 s)
Atenuación	0.0 dB

#### 4.6. Procesamiento estadísticos y análisis de datos

Dada la naturaleza de la investigación, el diseño de los radioenlaces para el esquema Cieneguilla en la banda de 400 MHz la técnica de análisis de datos basados en el procedimiento establecido es verificar en la pantalla del analizador si aparecen portadoras en el rango de operación.

- Verificamos las frecuencias de cada una de las portadoras que aparezcan en el rango.
- Captura de pantalla del Espectro medida.

- Se procederá a realizar las capturas de pantalla, sobre las portadoras que se encuentren dentro del rango de medición.
- El análisis de espectro se realizó por 2 horas en cada estación hidráulica.

Tabla N° 4. 6 Cronograma de análisis

<b>Estación</b>	<b>Estado</b>	<b>Modelo del analizador</b>	<b>Serie del Analizador</b>	<b>N° de Días</b>	<b>Fecha de análisis</b>
<b>PE-773</b>	Realizado	SSA3021X	SSA3XLBD1R0755	1	01/07/18
<b>CRP-06</b>	Realizado	SSA3021X	SSA3XLBD1R0756	1	01/07/18
<b>PP-03</b>	Realizado	SSA3021X	SSA3XLBD1R0755	1	01/07/18
<b>RE-01</b>	Realizado	SSA3021X	SSA3XLBD1R0756	1	01/07/18
<b>CI-02</b>	Realizado	SSA3021X	SSA3XLBD1R0755	1	01/07/18

## Radio Modem

Para realizar la prueba de tráfico de datos, recurriremos a la utilización de radios modem industriales en la banda de 400MHz, las cuales encontramos en distintas marcas, aquí mencionaremos 3, esto por su acceso en el mercado local en stock.

- Xeta4-FCC (Xetawave):

Figura N° 4. 25 Radio modem marca Xetawave

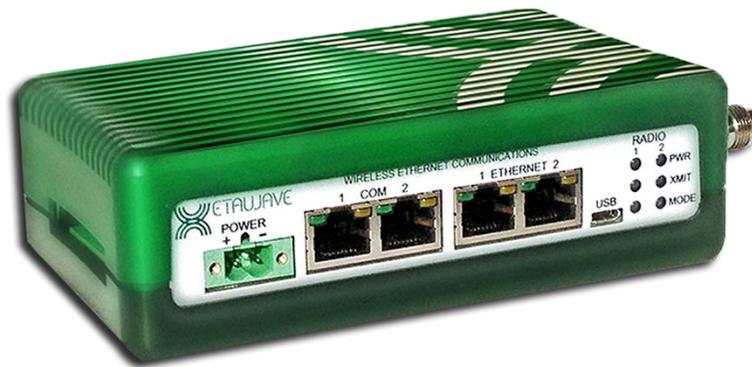


Figura N° 4. 26 Especificaciones técnicas de transmisión

Technical Specifications – North American FCC & IC Applications		
Transmitter		
Frequency Range	-	406 – 430 / 450 – 470 MHz
Output Power	-	50 – 8000 mW (17 – 39 dBm)
Modulations	-	MSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM
RF Data Rate	-	10 kbps – 57 kbps
Occupied Bandwidth	-	12.5 kHz (25 kHz, 50 kHz and other custom channel sizes available to meet local regulations)
Frequency Stability	-	1.0 ppm
Duty Cycle	-	Continuous
Output Impedance	-	50 Ohms
Range	-	70+ miles

- MDS SD4 (General Electric):

Figura N° 4. 27 Radio Modem MDS SD4 General Electric



Figura N° 4. 28 Especificaciones técnicas de transmisión

SD4	
RF data rate & bandwidth	4,800 bps @ 6.25 kHz 9,600 & 19,200 bps @ 12.5 kHz 19,200 & 38,400 bps @ 25 kHz
Frequency bands	300 - 360 MHz 350 - 400 MHz 400 - 450 MHz 450 - 512 MHz

- Ripex400 (Racom):

Figura N° 4. 29 Radio modem de la marca Racom



Figura N° 4. 30 Especificaciones técnicas de comunicación de la radio  
Racom

<b>Radio parameters</b>	
Frequency bands	135-154; 154-174; 215-240; 300-320; 320-340; 340-360; 368-400; 400-432; 432-470; 470-512; 928-960 MHz
Channel spacing	6.25 / 12.5 / 25 / 50 kHz
Frequency stability	+/- 1.0 ppm
Modulation	QAM (Linear): 16DEQAM, D8PSK, $\pi/4$ DQPSK, DPSK FSK (Exponential): 4CPFSK, 2CPFSK
Data speed (up to)	> 200 kbps@50 kHz; > 100 kbps@25 kHz; > 50 kbps@12.5 kHz; > 25 kbps@6.25 kHz
RF Output power	0.1 to 10 W programmable
Duty cycle	Continuous
Sensitivity for BER 10e-6	-99 dBm / 16DEQAM / 25 kHz -115 dBm / 2CPFSK / 25 kHz

Las características que utilizaremos para decidir por una de las radios, será la velocidad de transmisión, esto debido a la topología a proponer, y el ancho de banda a ocupar cuando las los PLCs estén interconectados y se realice las consultas de registros para el SCADA, es por ello que decidimos usar la radio Racom.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1. Introducción.**

Para tener presente el correcto funcionamiento de los enlaces de las cinco estaciones del esquema Cieneguilla, se realizó el estudio de los perfiles geográficos, altura de las antenas, cálculo de los azimut, ganancia de las antenas, longitud de la trayectoria de los radioenlaces zona de fresnel, y disponibilidad del sistema a través del software Pathloss y Radio Mobile.

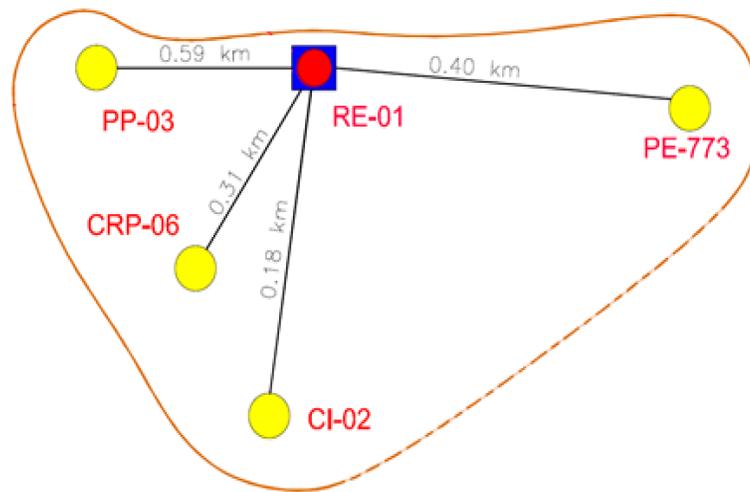
#### **5.2. Estudio de enlace**

Durante el proceso de replanteo se ha visitado todas las estaciones objeto de estudio, tras lo cual se han realizado las siguientes consideraciones.

- Se ha verificado la Línea de Vista de los enlaces propuestos.
- Se ha comprobado la viabilidad de los enlaces calculando los perfiles de enlace, Zona de Fresnel y la disponibilidad del sistema, tanto en la banda de 400 MHz como en 23 GHz.
- Se ha realizado los cálculos de electrónica digital, diseño de los radioenlaces y de radio propagación, utilizado como herramienta de diseño el software RADIO MOBILE. Para así verificar las características adecuadas de los equipos que serán necesarios en el proyecto.
- Mediante el uso de Analizadores de Espectro se ha verificado el comportamiento de la banda licenciada de 400 Mhz en la zona del

estudio, para detectar las interferencias, canales ocupados por otros sistemas de comunicaciones presentes, y así elegir del espectro los canales disponibles para la comunicación de nuestro sistema.

Figura N° 5. 1 Perfil de enlace



Mediante el Software Pathloss y Radio Mobile se realizará lo siguiente.

- Cálculo de los perfiles geográficos.
- Cálculo de altura de las antenas.
- Cálculo de los Azimut.
- Cálculo de la Ganancia de las antenas.
- Cálculo de las zonas de Fresnel.
- Cálculo de la longitud de la trayectoria de los radioenlaces.
- Cálculo de las pérdidas de espacio libre.
- Cálculo de la potencia de transmisión.

- Cálculo de la potencia radiada efectiva.
- Nivel señal recibida.
- Margen de desvanecimiento.
- Diagnóstico del área o áreas a interconectar. Evaluación de cotas y ubicación geográfica.
- Se verificará y asegurará que la línea de vista entre las estaciones, en caso de no contar con línea de vista se realizará replanteos de la arquitectura de comunicaciones con el fin de garantizar los enlaces, (se debe buscar el mejor enlace entre las estaciones).
- Se asegurará que la primera zona Fresnel esté libre de obstáculos, o asegurar que este libre los porcentajes técnicos recomendados.
- Elaboración de los perfiles geográficos de los enlaces a implementar.
- Se asegurará que los enlaces conformados en el estudio final tendrán una confiabilidad del 99.95%. (Se debe aclarar que la disponibilidad y confiabilidad del sistema de la radio no garantiza la transmisión de datos superior a lo permitido en el ancho de banda establecido para la frecuencia de 400Mhz y que está regulado por el MTC).

Para la realización del estudio de los puntos especificados líneas arriba se necesitó:

- Radio Maestra Ethernet (1+1) en la banda de 400 MHz, con antena Omnidireccional externa para los enlaces PMP hacia las estaciones PP 03, CRP 06, CI 02 y PE 773.
- Switch Ethernet, para conexión de la Radio con el PLC de la estación y los equipos del sistema de comunicación.

### 5.3. Pruebas realizadas.

#### a. Cálculo de perfiles de enlace, zona de fresnel y disponibilidad del sistema:

#### Enlace PP 03 – RE 01

Parámetros de configuración del Software:

- Tipo de Antena: YAGI, OMNI
- Tipo de Línea de TX: LMR-400
- Modelo de Radio: RIPEX 400
- Frecuencia: 400 MHz.
- Potencia TX.: 20 dBm.

Tabla N° 5. 1 Descripción de enlace entre estaciones PP03 – RE01

Nombre de la estación:		Pozo Proyectado - 03	Reservorio Existente - 01
Código de estación		PP-03	RE-01
Estado estructural		En construcción	Existente
Distancia del enlace		0.59 KM	0.59 KM
Frecuencia de trabajo		400 MHz	400 MHz
Coordenadas geográficas	Latitud	12° 05' 21.39" S	12° 05' 23.95" S
	Longitud	76° 46' 27.74" W	76° 46' 08.48" W

Figura N° 5. 2 Representación de la distancia de estaciones RE-01 y PP-03

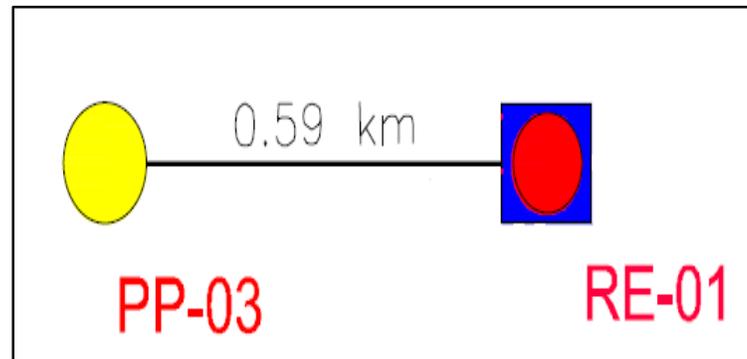
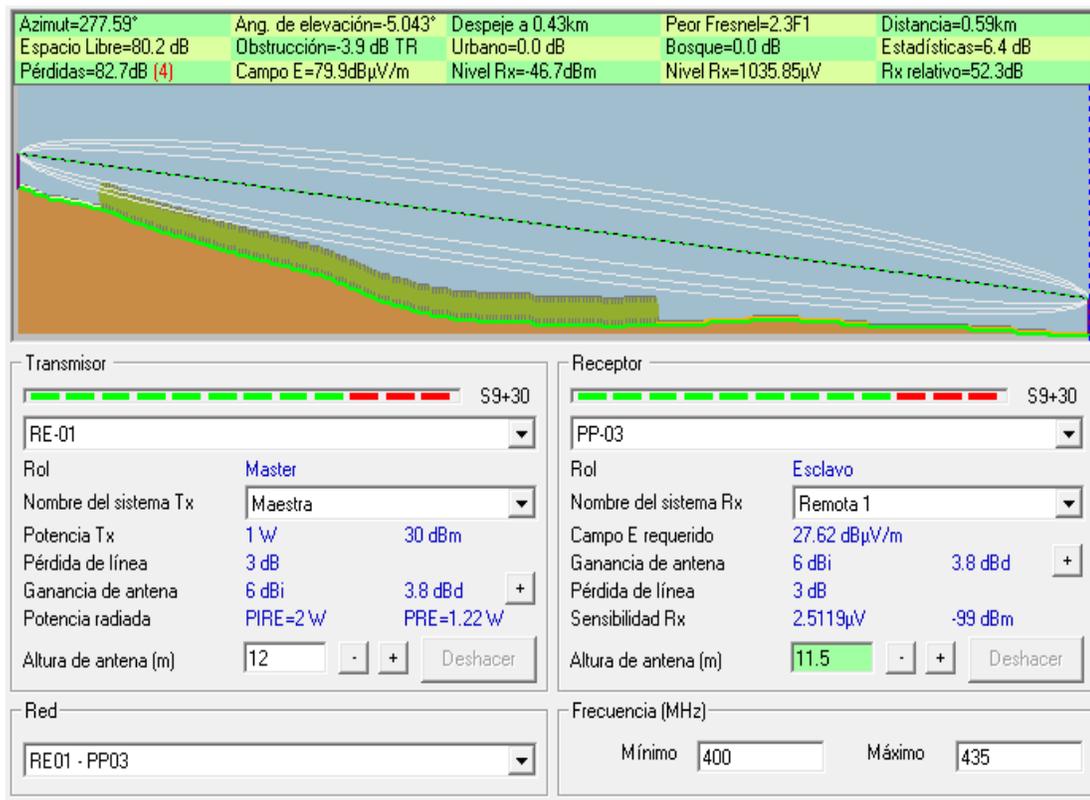


Figura N° 5. 3 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y PP-03 obtenidas del Software Radio Mobile



## Enlace CRP 06 – RE 01

Parámetros de configuración del Software:

- Tipo de Antena: YAGI, OMNI
- Tipo de Línea de TX.: LMR-400
- Modelo de Radio: RIPEX 400
- Frecuencia: 400 MHz.
- Potencia TX.: 20 dBm.

Tabla N° 5. 2 Descripción de enlace entre estaciones CRP 06 – RE01

Nombre de la estación:		Cámara Reductora de Presión - 06	Reservorio Existente - 01
Código de estación		CRP-06	RE-01
Estado estructural		En construcción	Existente
Distancia del enlace		0.31 KM	0.31 KM
Frecuencia de trabajo		400 MHz	400 MHz
Coordenadas geográficas	Latitud	12° 05' 26.82" S	12° 05' 23.95" S
	Longitud	76° 46' 18.45" W	76° 46' 08.48" W

Figura N° 5. 4 Representación de la distancia de estaciones CRP-06 y RE-01

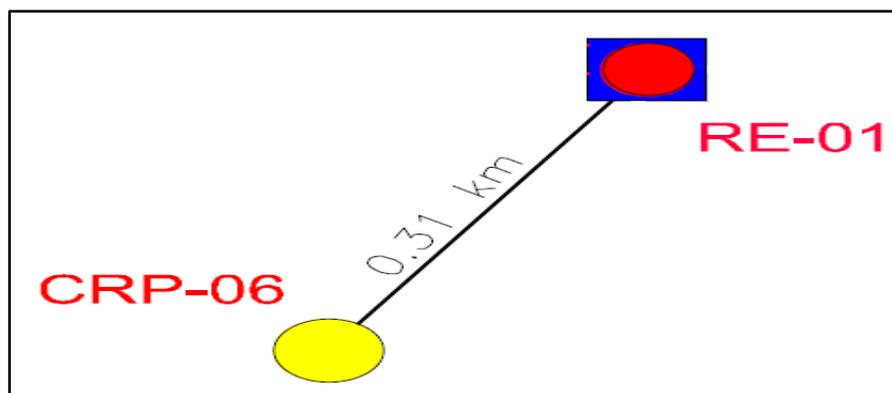
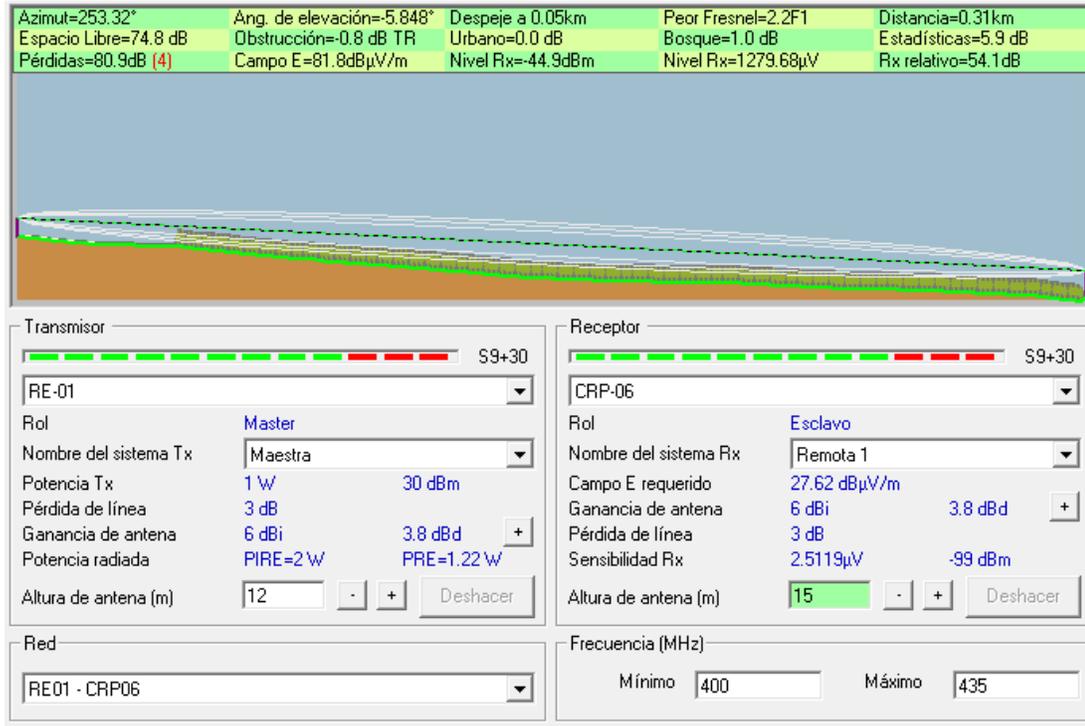


Figura N° 5.5 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y CRP-06 obtenidas del Software Radio Mobile



### Enlace CI 02 – RE 01

Parámetros de configuración del Software:

- Tipo de Antena: YAGI, OMNI
- Tipo de Línea de TX.: LMR-400
- Modelo de Radio: RIPEX 400
- Frecuencia: 400 MHz.
- Potencia TX.: 10 dBm.

Tabla N° 5. 3 Descripción de enlace entre estaciones CI-02 – RE-01

Nombre de la estación:		Cámara de Ingreso - 02	Reservorio Existente - 01
Código de estación		CI-02	RE-01
Estado estructural		En construcción	Existente
Distancia del enlace		0.18 KM	0.18 KM
Frecuencia de trabajo		400 MHz	400 MHz
Coordenadas geográficas	Latitud	12° 05' 26.92" S	12° 05' 23.95" S
	Longitud	76° 46' 13.42" W	76° 46' 08.48" W

Figura N° 5. 6 Representación de la distancia de estaciones CI-02 y RE-01

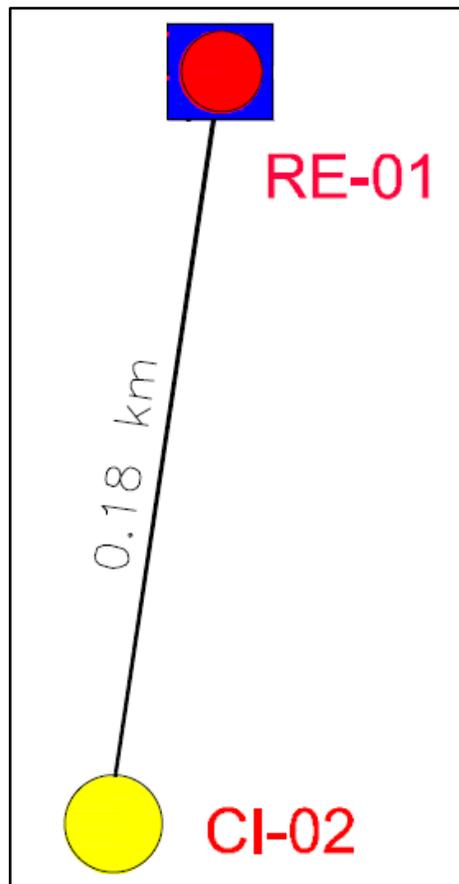
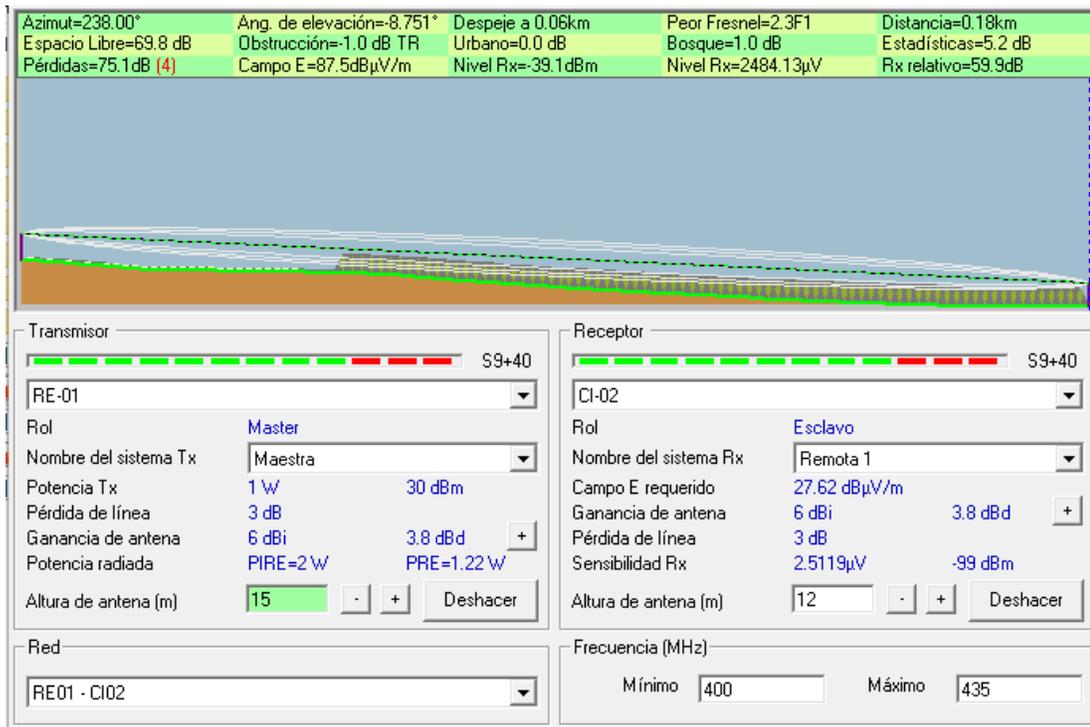


Figura N° 5. 7 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y CI-02 obtenidas del Software Radio Mobile´



### Enlace PE-773 – RE 01

Parámetros de configuración del Software:

- Tipo de Antena: YAGI, OMNI
- Tipo de Línea de TX.: LMR-400
- Modelo de Radio: RIPEX 400
- Frecuencia: 400 MHz.
- Potencia TX.: 20 dBm.

Tabla N° 5. 4 Descripción de enlace entre estaciones PE-773 – RE-01

Nombre de la estación:		Pozo Existente -773	Reservorio Existente - 01
Código de estación		PE-773	RE-01
Estado estructural		En construcción	Existente
Distancia del enlace		0.40 KM	0.40 KM
Frecuencia de trabajo		400 MHz	400 MHz
Coordenadas geográficas:	Latitud	12° 05' 28.73" S	12° 05' 23.95" S
	Longitud	76° 46' 20.81" W	76° 46' 08.48" W

Figura N° 5. 8 Representación de la distancia de estaciones PE-773 y RE-01

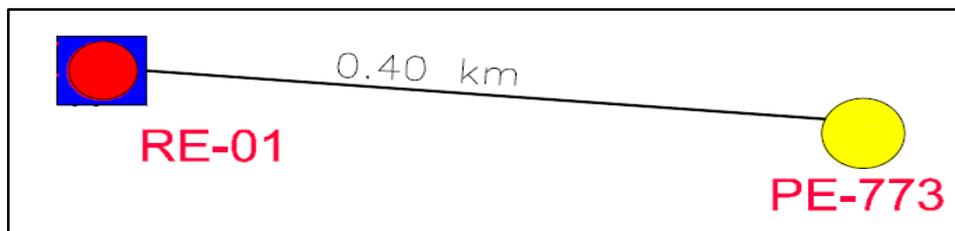
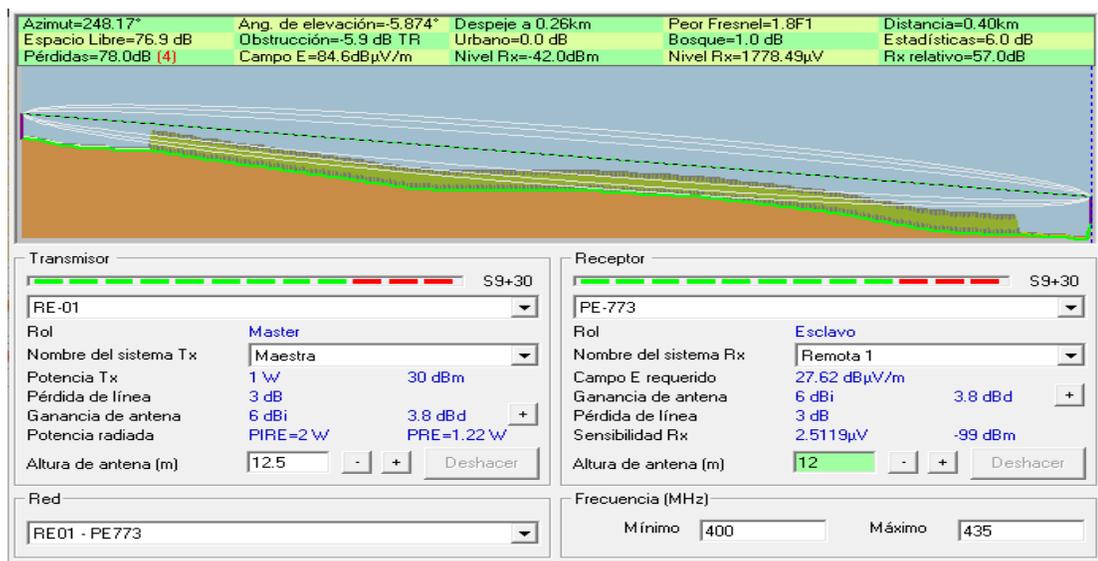


Figura N° 5. 9 Resultados obtenidos del enlace entre estaciones RE-01 y PE-773 obtenidas del Software Radio Mobile



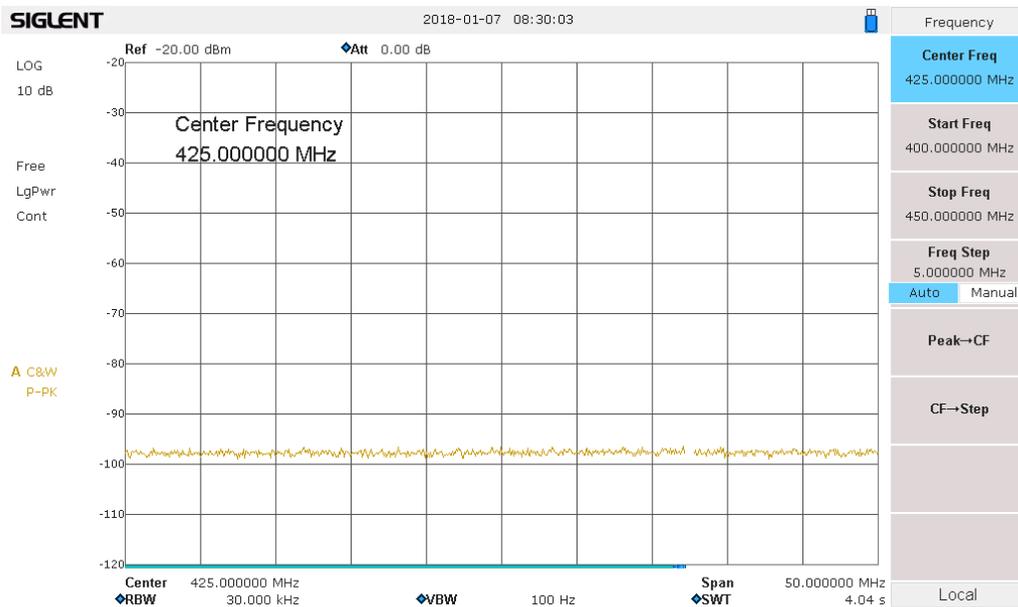
**b. Análisis de espectro Radioeléctrico:**

**Análisis de espectro de 400MHz en la estación PE-773**

Figura N° 5.10 Instalación de antena Yagi y medición de radioespectro en la estación PE-773



Figura N° 5.11 Captura del analizador de espectro en la estación PE-773

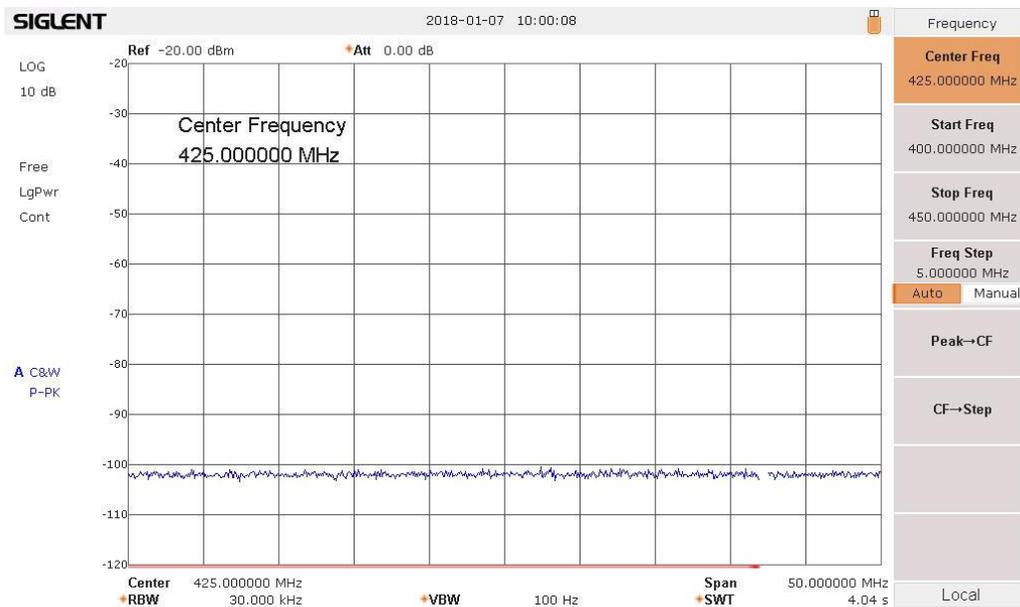


## Análisis de espectro de 400MHz en la estación CRP06

Figura N° 5. 12 Instalación de antena Yagi y medición de radioespectro en la estación CRP06



Figura N° 5. 13 Captura del analizador de espectro en la estación CRP06

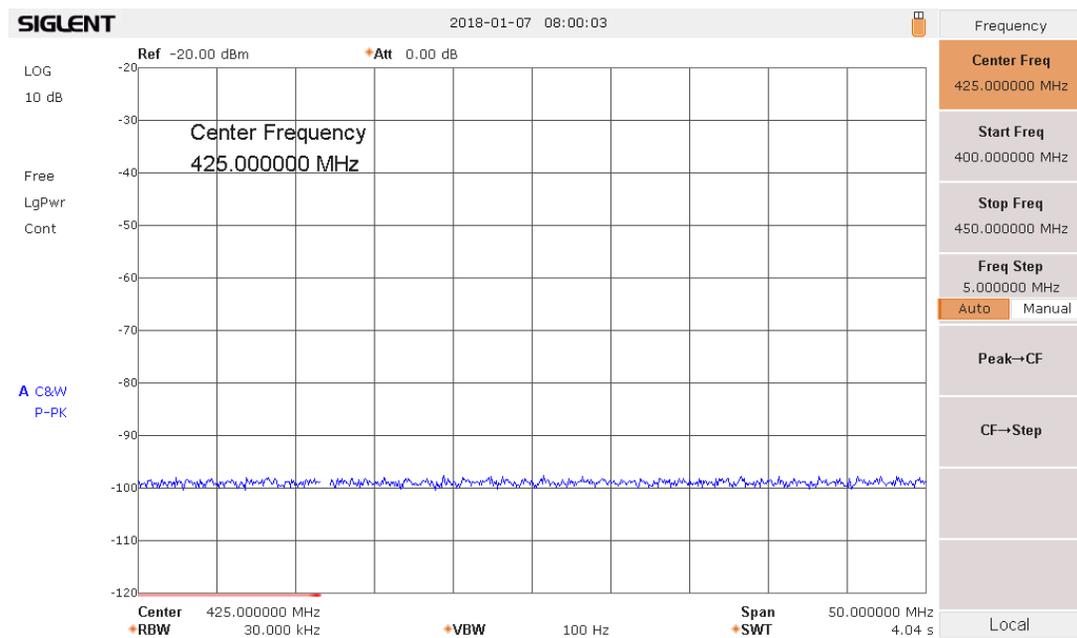


## Análisis de espectro de 400MHz en la estación PP-03

Figura N° 5. 14 Instalación de antena yagi y medición de radioespectro en la estación PP-03



Figura N° 5. 15 Captura del analizador de espectro en la estación PP-03



## **Análisis de espectro de 400MHz en la estación RE-01**

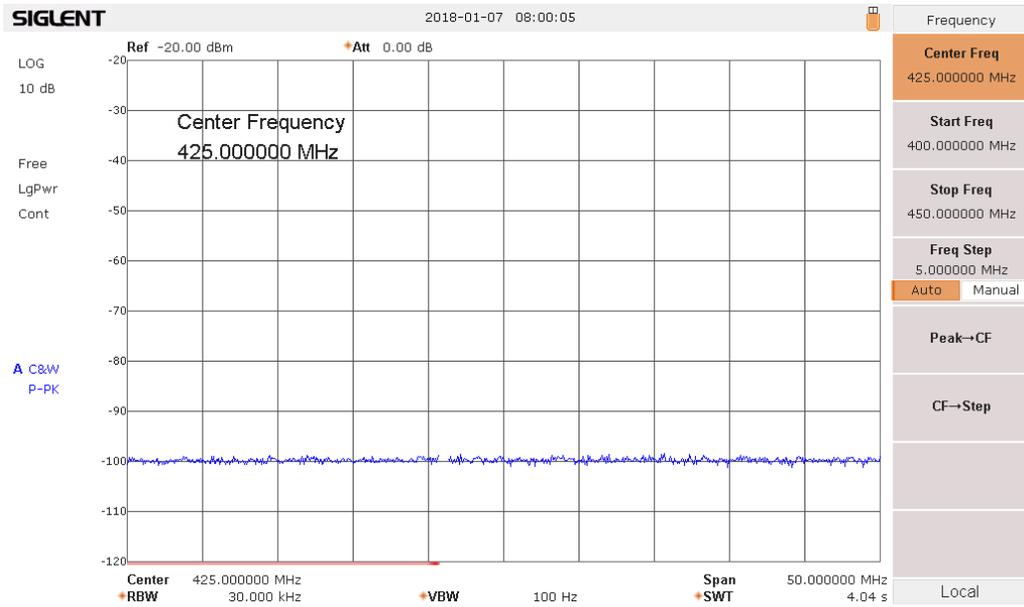
Figura N° 5. 16 Instalación de antena Yagi en la estación RE-01



Figura N° 5. 17 Medición de radioespectro en la estación RE-01



Figura N° 5. 18 Captura del analizador de espectro en la estación RE-01



### Análisis de espectro de 400MHz en la estación CI-02

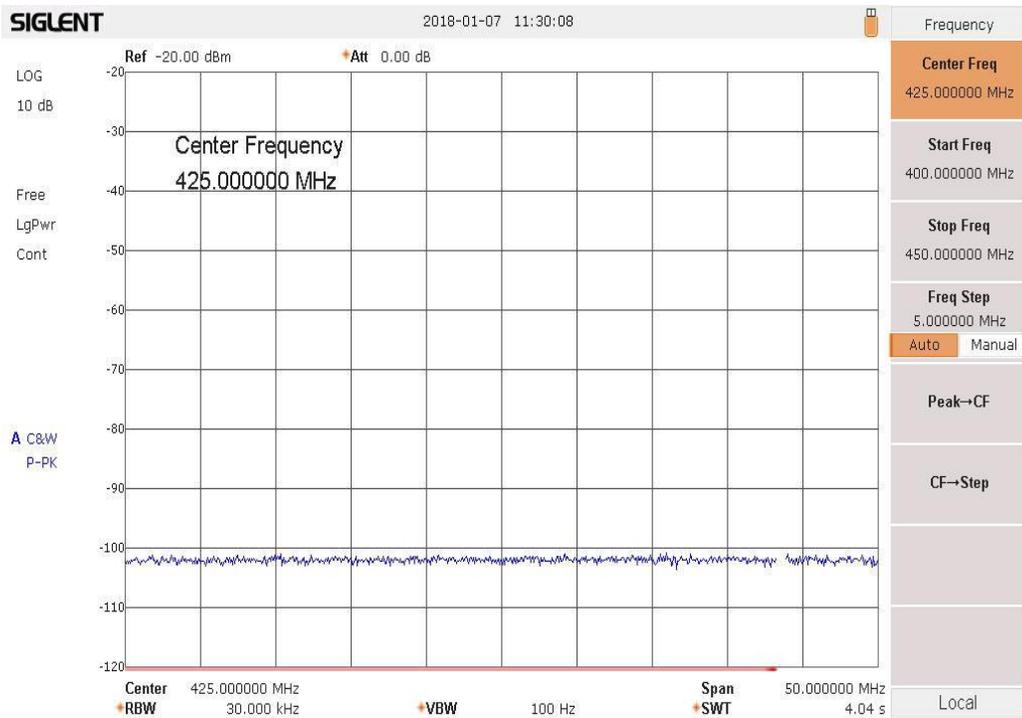
Figura N° 5. 19 Instalación de antena yagi en la estación CI-02



Figura N° 5. 20 Medición de radioespectro en la estación CI-02



Figura N° 5. 21 Captura del analizador de espectro en la estación CI-02



El resultado obtenido fue el siguiente:

Tabla N° 5. 5 Resultado obtenido de análisis periódico

Estación	Observación
<b>PE-773</b>	No se encontraron portadoras
<b>CRP-06</b>	No se encontraron portadoras
<b>PP-03</b>	No se encontraron portadoras
<b>RE-01</b>	No se encontraron portadoras
<b>CI-02</b>	No se encontraron portadoras

### **c. Tráfico de datos**

La topología propuesta para la prueba de tráfico de datos será una red punto multipunto (PMP).

Se utilizaron canales determinados en el Estudio de Radio Espectro en la banda de 400MHz, con una configuración en modo Router. Como etapas dentro de las pruebas, realizaremos carga y descarga de un archivo hacia un PLC desde una estación maestra hacia una estación remota, transferencia de datos entre el Sistema OPC de la estación maestra y los interfaces del HMI de las estaciones remotas utilizando como medio de comunicación el enlace construido con los equipos RipEX en la banda de 400MHz, y para medir la velocidad efectiva de transferencia de datos (throughput) recurriremos al software WIRESHARK.

Se realizó saturación de los enlaces de manera individual (estación remota y, únicamente con estación cabecera), y luego, la misma actividad en toda la red

implementada, esto para poder evaluar el comportamiento de los equipos ante la sobrecarga de información que pueda existir en algunas estaciones de cabecera.

Se hizo uso de un protocolo de tráfico de datos donde se registraron todos los valores obtenidos en cada una de las prueba.

### Configuración y Niveles RSSI:

Figura N° 5. 22 Pestaña de configuración en estación RE01

The screenshot displays the configuration page for a RipEX radio modem and router. The interface is organized into several sections:

- Header:** RipEX logo, "Radio modem & Router", RACOM logo, and a "Logout" link.
- Left Sidebar:** A vertical menu with options: Status, Wizards, Settings (highlighted), Routing, VPN, IPsec, GRE, Diagnostic, Neighbours, Statistic, Graphs, Ping, Monitoring, and Maintenance.
- Values from: Choclo R1:** A red bar at the top of the main content area with a "Fast remote access" button and a help icon.
- Device Section:** A table of configuration options:

Unit name	Choclo R1	Time	Manual	Alarm management	Default	Neighbours&Statistics	Default
Operating mode	Router	SNMP	Off	Power management	Always On	Graphs	Default
Hot Standby	Off	Firewall	Off	WiFi	On	Management	Default
- Radio Section:** Configuration for the radio interface:

Radio protocol	Base driven
Station type	Base
IP	10.10.10.1
Mask	255.255.255.0
TX frequency	426.012.500
RX frequency	416.012.500
Channel spacing [kHz]	25.0
Modulation rate [kbps]	83.33   16DEQAM
RF power [mW]	2
Optimization	Off
Encryption	Off
MTU [bytes]	1500
- ETH Section:** Configuration for the Ethernet interface:

IP	190.168.1.10
Mask	255.255.255.0
DHCP	Off
Shaping	Off
Speed	Auto
Modbus TCP	Off
Terminal servers	Off
TCP proxy	Off
ARP proxy & VLAN	Off
- COM Section:** Configuration for serial ports:

	COM 1	COM 2
Type	RS232	RS232
Baud rate [bps]	19200	19200
Data bits	8	8
Parity	None	None
Stop bits	1	1
Idle [bytes]	5	5
MRU [bytes]	1600	1600
Flow control	None	None
Protocol	None	None
- Bottom:** "Apply" and "Cancel" buttons.

Figura N° 5. 23 Pestaña de RSSI en estación RE01

Values from: **Choclo R1** Fast remote access ?

**Neighbours** ?

Date: 2018-07-02 11:55    Last upd.: 2018-07-02 15:49    Log uptime: 03:53:43    Log save period: Default (1d 00:00)

IP		Received headers [Count]	RSS [dBm]	DO	TxLost [%]	Ucc [V]	Temp [°C]	PWR [mW]	VSWR	Packets [Rx/Tx]		
										ETH	COM1	COM2
This unit	Last	-	-	-	0	23.9	40.5	1.9	1.5	22123 /	0 /	0 /
	Avg	-	-	-	0.00	23.90	40.50	1.83	1.47	23786	0	0
10.10.10.2	Last	7692	-79	222	0	24.0	36.0	0.8	1.4	19359 /	0 /	0 /
	Avg	-	-75.98	218.63	0.00	24.10	36.00	0.80	1.40	14716	0	0
10.10.10.3	Last	10038	-57	212	0	23.8	36.5	0.8	1.5	10491 /	0 /	0 /
	Avg	-	-56.99	211.05	0.00	24.00	36.50	0.80	1.50	8322	0	0
10.10.10.4	Last	11480	-61	193	0	24.1	38.3	0.8	1.4	35612 /	0 /	0 /
	Avg	-	-61.28	195.45	0.00	24.10	38.37	0.80	1.40	20182	0	0

Legend: Alarm monitored, Alarm Alarm monitored, No alarm

< Previous 20 ... 3 2 1 0 Refresh Save Difference: Clear Display

© RACOM, Mirova 1283, 592 31 Nove Mesto na Morave, Czech Republic, Tel.: +420 565 659 511, E-mail: racom@racom.eu www.racom.eu

Figura N° 5. 24 Pestaña de configuración en estación PP03

Remote Connection Active Logout

Values from: **POZO-657** Remote IP: 190.168.2.10 Connect Disconnect ?

**Device** ?

Unit name: POZO-657    Time: Manual    Alarm management: Default    Neighbours&Statistics: Default

Operating mode: Router    SNMP: Off    Power management: Always On    Graphs: Default

Hot Standby: Off    Firewall: Off    WiFi: On    Management: Default

**Radio** ?

Radio protocol: Base driven

Station type: Remote

IP: 10.10.10.2

Mask: 255.255.255.0

TX frequency: 416.012.500

RX frequency: 426.012.500

Channel spacing [kHz]: 25.0

Modulation type: QAM

RF power [W]: 1

Optimization: Off

Encryption: Off

MTU [bytes]: 1500

**ETH** ?

IP: 190.168.2.10

Mask: 255.255.255.0

DHCP: Off

Shaping: Off

Speed: Auto

Modbus TCP: Off

Terminal servers: Off

TCP proxy: Off

ARP proxy & VLAN: Off

**COM** ?

	COM 1	COM 2
Type	RS232	RS232
Baud rate [bps]	19200	19200
Data bits	8	8
Parity	None	None
Stop bits	1	1
Idle [bytes]	5	5
MRU [bytes]	1600	1600
Flow control	None	None
Protocol	None	None

Apply Cancel

Figura N° 5. 25 Pestaña de RSSI en estación PP03

Remote Connection Active Logout

Values from: POZO-657 Remote IP: 190.168.2.10 Connect Disconnect ? X

### Neighbours

Date: 2018-07-02 11:11    Diff. last upd.: 2018-07-02 15:46    Diff. uptime: 04:34:52    Log save period: Default (1d 00:00)

IP	Received headers (Count)	BSS (dBm)	DO	TxLost (%)	Ucc (V)	Temp (°C)	PWR (W)	VSWR	Packets (Rx/Tx)			
									ETH	COM1	COM2	
This unit	Last	-	-	0	24.1	36.5	0.8	1.4	17276 /	0 /	0 /	
	Avg	-	-	0.00	24.10	36.50	0.80	1.40	12128	0	0	
10.10.10.1	Last	12237	-58	187	0	23.9	37.3	1.8	1.4	8403 /	0 /	0 /
	Avg	-	-60.33	194.14	0.00	23.90	37.30	1.80	1.40	9510	0	0

Legend: Alarm monitored, Alarm    Alarm monitored, No alarm

< Previous 20 ... 2 1 0 Last Save Difference: Clear Display

© RACOM, Mirova 1283, 592 31 Nove Mesto na Morave, Czech Republic, Tel.: +420 565 659 511, E-mail: racom@racom.eu www.racom.eu

Figura N° 5. 26 Pestaña de configuración en estación CI02

Remote Connection Active Logout

Values from: CIS-213 Remote IP: 190.168.3.10 Connect Disconnect ? X

### Device

Unit name: CIS-213    Time: Manual    Alarm management: Default    Neighbours&Statistics: Default

Operating mode: Router    SNMP: Off    Power management: Always On    Graphs: Default

Hot Standby: Off    Firewall: Off    WiFi: On    Management: Default

### Radio

Radio protocol: Base driven

Station type: Remote

IP: 10.10.10.3

Mask: 255.255.255.0

TX frequency: 416.012.500

RX frequency: 426.012.500

Channel spacing [kHz]: 25.0

Modulation type: QAM

RF power [W]: 1

Optimization: Off

Encryption: Off

MTU [bytes]: 1500

### ETH

IP: 190.168.3.10

Mask: 255.255.255.0

DHCP: Off

Shaping: Off

Speed: Auto

Modbus TCP: Off

Terminal servers: Off

TCP proxy: Off

ARP proxy & VLAN: Off

### COM

	COM 1	COM 2
Type	RS232	RS232
Baud rate [bps]	19200	19200
Data bits	8	8
Parity	None	None
Stop bits	1	1
Idle [bytes]	5	5
MRU [bytes]	1600	1600
Flow control	None	None
Protocol	None	None

Apply Cancel

Figura N° 5. 27 Pestaña de RSSI en estación CI02

**RipEX** Radio modem & Router **RACOM**

Remote Connection Active Logout

Values from: CIS-213 Remote IP: 190.168.3.10 Connect Disconnect ? X

### Neighbours

Date: 2018-07-02 10:21 Last upd.: 2018-07-02 15:46 Log uptime: 05:25:47 Log save period: Default (1d 00:00)

IP	Received headers [Count]	RSS [dBm]	DQ	TxLost [%]	Ucc [V]	Temp [°C]	PWR [m]	VSWR	Packets [RxD/Tx]			
									ETH	COM1	COM2	
This unit	Last	-	-	0	24.1	36.8	0.8	1.5	17424 /	0 /	0 /	
	Avg	-	-	0.00	24.00	36.80	0.80	1.50	13573	0	0	
10.10.10.1	Last	12113	-54	203	0	23.9	37.3	1.8	1.4	8403 /	0 /	0 /
	Avg	-	-55.09	204.64	0.00	23.90	37.30	1.80	1.40	9510	0	0

Legend: Alarm monitored, Alarm Alarm monitored, No alarm

< Previous 20 ... 3 2 1 0 Refresh Save Difference: Clear Display

© RACOM, Mirova 1283, 592 31 Nove Mesto na Morave, Czech Republic, Tel.: +420 565 659 511, E-mail: racom@racom.eu [www.racom.eu](http://www.racom.eu)

Figura N° 5. 28 Pestaña de configuración en estación PE773

**RipEX** Radio modem & Router **RACOM**

Remote Connection Active Logout

Values from: CHOCLO R2 Remote IP: 190.168.4.10 Connect Disconnect ? X

### Device

Unit name: CHOCLO R2 Time: Manual Alarm management: Default Neighbours&Statistics: Default

Operating mode: Router SNMP: Off Power management: Always On Graphs: Default

Hot Standby: Off Firewall: Off WiFi: On Management: Default

### Radio

Radio protocol: Base driven

Station type: Remote

IP: 10.10.10.4

Mask: 255.255.255.0

TX frequency: 416.012.500

RX frequency: 426.012.500

Channel spacing [kHz]: 25.0

Modulation type: QAM

RF power [W]: 1

Optimization: Off

Encryption: Off

MTU [bytes]: 1500

### ETH

IP: 190.168.4.10

Mask: 255.255.255.0

DHCP: Off

Shaping: Off

Speed: Auto

Modbus TCP: Off

Terminal servers: Off

TCP proxy: Off

ARP proxy & VLAN: Off

### COM

	COM 1	COM 2
Type	RS232	RS232
Baud rate [bps]	19200	19200
Data bits	8	8
Parity	None	None
Stop bits	1	1
Idle [bytes]	5	5
MRU [bytes]	1600	1600
Flow control	None	None
Protocol	None	None

Apply Cancel

Figura N° 5. 29 Pestaña de RSSI en estación PE773

**RipEX** Radio modem & Router **RACOM**

Remote Connection Active [Logout](#)

Values from: CHOCLOR2 Remote IP **190.168.4.10**   ? X

### Neighbours

Date: 2018-07-02 10:26 Last upd.: 2018-07-02 15:53 Log uptime: 05:27:16 Log save period: Default (1d 00:00)

IP		Received headers (Count)	RSS (dBm)	DO	TxLost (%)	Ucc (V)	Temp (°C)	PWR (W)	VSWR	Packets [Rx/Tx]		
										ETH	COM1	COM2
This unit	Last	-	-	-	0	23.9	38.3	0.8	1.4	43934 /	0 /	0 /
	Avg	-	-	-	18.73	24.03	38.30	0.80	1.40	25051	0	0
10.10.10.1	Last	24760	-61	205	0	23.9	37.3	1.8	1.4	8403 /	0 /	0 /
	Avg	-	-63.10	212.63	0.00	23.90	37.30	1.80	1.40	9510	0	0

Legend: Alarm monitored, Alarm Alarm monitored, No alarm

< Previous 15 ... 3 2 1 0 Refresh  Difference:

© RACOM, Mirova 1283, 592 31 Nove Mesto na Morave, Czech Republic, Tel.: +420 565 659 511, E-mail: racom@racom.eu [www.racom.eu](http://www.racom.eu)

## Saturación de ancho de banda

Utilizaremos el software JPERF para enviar la información, y realizaremos el monitoreo de la información con el software WIRESHARK.

Realizaremos las pruebas de manera independiente y finalmente lo haremos en simultáneo. Empezaremos con el envío de 30KB, 50KB, 100KB, 300KB, 500KB y 1MB.

Figura N° 5. 30 Vista del JPERF desde la estación Maestra

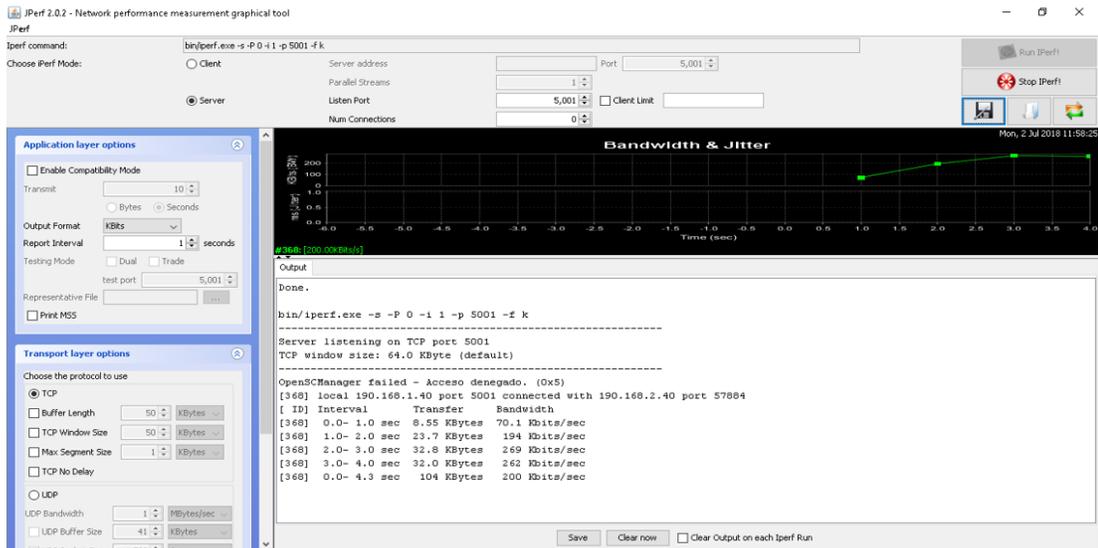


Figura N° 5. 31 Saturación de ancho de banda de PP03

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A -> B	Bytes A -> B	Packets B -> A	Bytes B -> A	Rel Start	Duration	Bits/s A -> B	Bits/s B -> A
190.168.2.40	57828	190.168.1.40	5001	55	38 k	29	36 k	26	1748	18.553221	1.5752	186 k	8877
190.168.2.40	57861	190.168.1.40	5001	85	65 k	46	62 k	39	2558	41.964504	3.0821	162 k	6639
190.168.2.40	57884	190.168.1.40	5001	146	116 k	79	112 k	67	4310	58.732396	4.5550	197 k	7569
190.168.2.40	57943	190.168.1.40	5001	371	291 k	192	278 k	179	12 k	101.107701	10.7879	206 k	9265
190.168.2.40	57982	190.168.1.40	5001	684	556 k	361	534 k	323	21 k	131.039370	21.4306	199 k	7980
190.168.2.40	58037	190.168.1.40	5001	1,414	1142 k	738	1095 k	676	46 k	172.075515	41.9211	209 k	8798

Figura N° 5. 32 Gráfica de saturación para la estación PP03

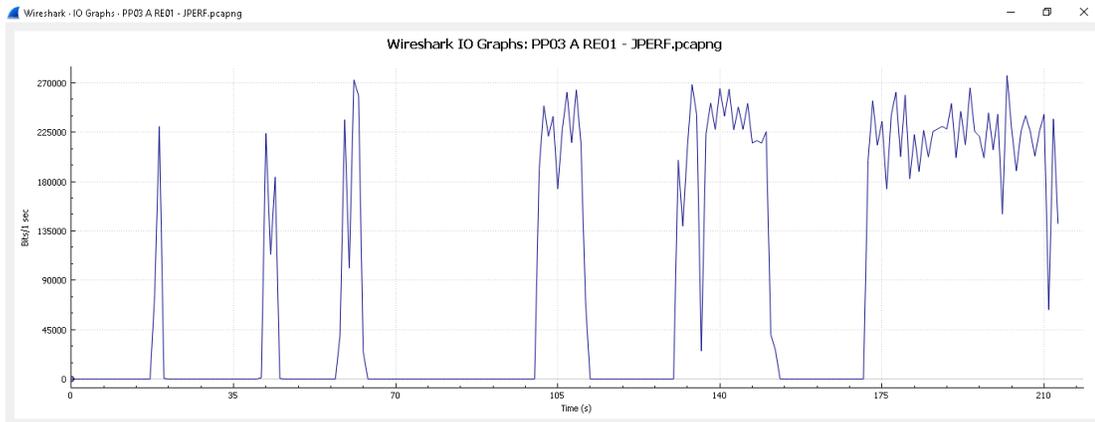


Figura N° 5. 33 Saturación de ancho de banda de CI02

Wireshark - Conversations - CI02 A RE01 - JPERF.pcapng

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
190.168.3.50	50854	190.168.1.40	5001	53	37 k	28	35 k	25	1706	8.593767	1.6377	174 k	8333
190.168.3.50	50855	190.168.1.40	5001	85	65 k	46	62 k	39	2558	33.117775	3.1049	161 k	6590
190.168.3.50	50856	190.168.1.40	5001	149	117 k	79	112 k	70	4760	52.082919	5.0105	179 k	7599
190.168.3.50	50857	190.168.1.40	5001	343	278 k	182	268 k	161	10 k	76.351122	10.2649	209 k	8287
190.168.3.50	50858	190.168.1.40	5001	703	567 k	366	544 k	337	23 k	104.637888	21.3126	204 k	8668
190.168.3.50	50859	190.168.1.40	5001	1,387	1125 k	724	1080 k	663	44 k	157.771442	42.7468	202 k	8364

Figura N° 5. 34 Gráfica de saturación para la estación CI02

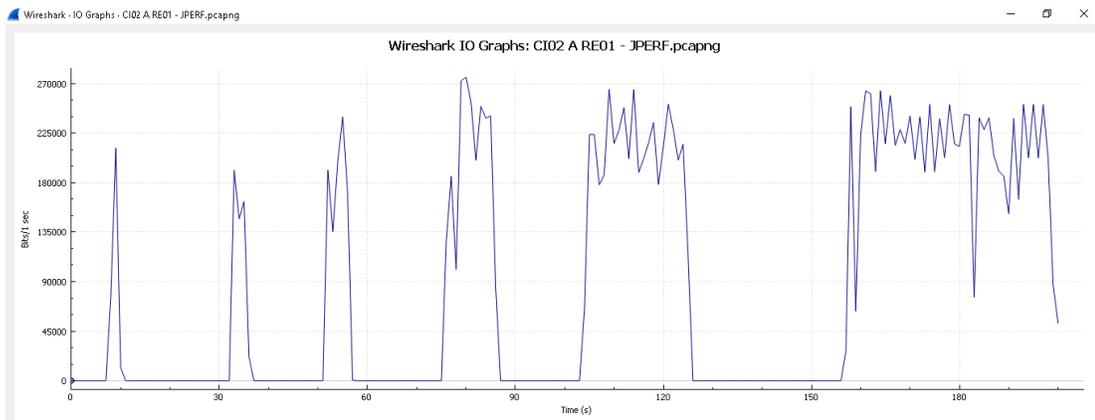


Figura N° 5. 35 Saturación de ancho de banda de PE773

Wireshark · Conversations · PE773 A RE01 - JPEF.pcapng

Ethernet · 5   IPv4 · 6   IPv6 · 1   TCP · 7   UDP · 7

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
190.168.1.40	55004	190.168.1.10	80	4	230	2	110	2	120	6.417891	45.0013	19	21
190.168.4.40	50826	190.168.1.40	5001	49	35 k	28	34 k	21	1298	0.000000	2.0752	132 k	5003
190.168.4.40	50827	190.168.1.40	5001	81	63 k	45	61 k	36	2320	21.075449	3.1641	154 k	5865
190.168.4.40	50828	190.168.1.40	5001	147	117 k	82	113 k	65	4030	42.433330	4.2588	213 k	7570
190.168.4.40	50829	190.168.1.40	5001	338	275 k	189	266 k	149	8994	105.723773	10.2749	207 k	7002
190.168.4.40	50830	190.168.1.40	5001	658	550 k	370	533 k	288	17 k	139.909144	20.5380	207 k	6699
190.168.4.40	50831	190.168.1.40	5001	1,286	1101 k	733	1068 k	553	32 k	180.667923	37.5410	227 k	7019

Figura N° 5. 36 Gráfica de saturación para la estación PE773

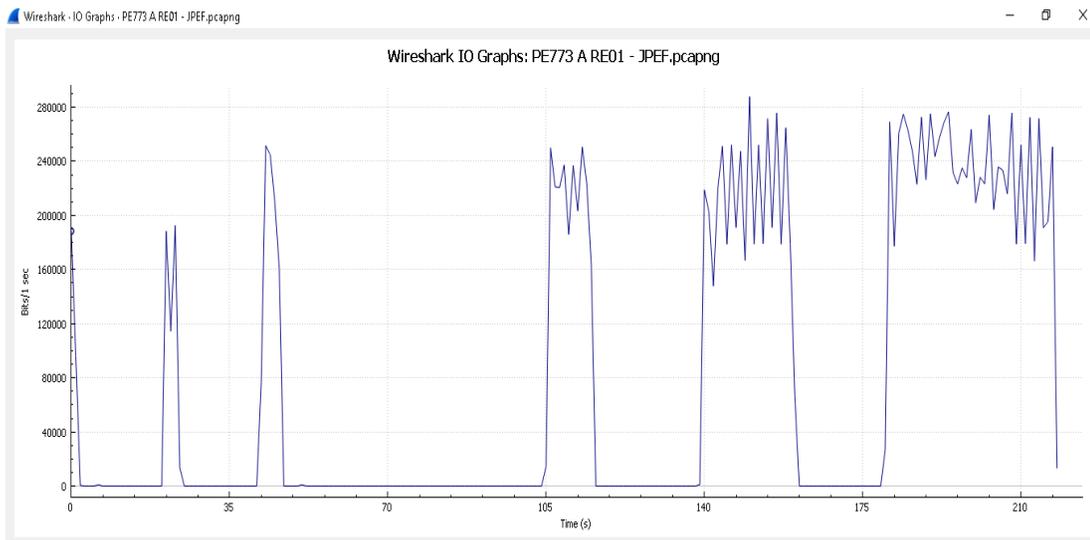


Figura N° 5. 37 Saturación del ancho de banda de manera simultánea entre las 3 estaciones y la estación maestra.

The figure consists of five screenshots of Wireshark traffic analysis windows, each showing a table of network statistics for a specific simulation size. The tables are as follows:

**Wireshark - Conversations - simul 30kB.pcapng**

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
190.168.1.40	55348	192.168.1.53	7680	3	198	3	198	0	0	7.978869	9.0009	175	0
190.168.2.40	60904	190.168.1.40	5001	61	42 k	31	40 k	30	1972	0.306017	3.8858	83 k	4059
190.168.3.50	50928	190.168.1.40	5001	53	37 k	28	35 k	25	1678	0.127901	3.9422	72 k	3405
190.168.4.40	50857	190.168.1.40	5001	55	38 k	29	37 k	26	1528	0.000000	4.7416	62 k	2578

**Wireshark - Conversations - simul 50kB.pcapng**

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
190.168.1.40	55250	192.168.1.53	7680	3	198	3	198	0	0	25.799957	9.0010	175	0
190.168.2.40	60999	190.168.1.40	5001	97	70 k	50	67 k	47	3050	8.020017	6.6448	81 k	3672
190.168.3.50	50933	190.168.1.40	5001	88	64 k	45	61 k	43	2830	9.373058	7.4540	65 k	3037
190.168.4.40	50858	190.168.1.40	5001	97	66 k	50	63 k	47	2742	8.174679	6.5891	76 k	3329

**Wireshark - Conversations - simul 100kB.pcapng**

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
190.168.2.40	61550	190.168.1.40	5001	165	128 k	86	122 k	79	5414	0.000000	10.3158	95 k	4198
190.168.3.50	50947	190.168.1.40	5001	153	117 k	79	112 k	74	4900	1.499765	16.7830	53 k	2335
190.168.4.40	50862	190.168.1.40	5001	152	116 k	81	112 k	71	4574	1.527830	10.4917	85 k	3487

**Wireshark - Conversations - simul 500kB.pcapng**

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
190.168.1.40	55358	190.168.1.10	80	2	115	1	55	1	60	40.000028	0.0006	—	—
190.168.2.40	62331	190.168.1.40	5001	718	562 k	363	538 k	355	23 k	3.851077	58.6361	73 k	3156
190.168.3.50	50960	190.168.1.40	5001	731	576 k	371	552 k	360	24 k	2.350091	55.0100	80 k	3501
190.168.4.40	50867	190.168.1.40	5001	744	562 k	382	541 k	362	21 k	3.879116	51.7429	83 k	3299

**Wireshark - Conversations - simul 1MB.pcapng**

Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
190.168.1.40	55362	192.168.1.53	7680	3	198	3	198	0	0	0.000000	9.0015	175	0
190.168.1.40	55363	192.168.1.53	7680	3	198	3	198	0	0	39.688744	9.0007	175	0
190.168.2.40	63006	190.168.1.40	5001	1,398	1115 k	732	1074 k	666	41 k	4.902776	104.1593	82 k	3161
190.168.3.50	50969	190.168.1.40	5001	1,443	1146 k	731	1096 k	712	49 k	0.922392	116.6278	75 k	3382
190.168.4.40	50870	190.168.1.40	5001	1,477	1124 k	752	1083 k	725	41 k	0.655746	104.5271	82 k	3210

Estas son las velocidades las cuales se pueden obtener, con la carga y descarga de un archivo de PLC de manera remota desde la estación cabecera.

Todas las etapas de este proyecto de tesis serán desarrolladas según se detalla en la Tabla (5.8 y 5.9):

Tabla N° 5. 6 Componentes considerados en el proyecto de tesis

<b>COMPONENTES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Alquiler de analizador de radio espectro	4	S/90.00/hora	S/360.00
Antena Yagi	2	S/40.00	S/80.00
Antena omnidireccional	1	S/60.00	S/60.00
Cable coaxial LMR400	30	S/4.00/m	S/120.00
Conectores tipo N	10	S/5.00	S/50.00
Alquiler de radio industrial de comunicaciones	3	S/100.00	S/300.00
Extensión eléctrica	3	S/10.00	S/30.00
Supresor de pico	3	S/10.00	S/30.00
Alquiler PLC S7-300 Siemens	2	S/75.00	S/150.00
Alquiler de HMI (Panel Basic)	2	S/75.00	S/150.00
Switch Lantech	1	S/100.00	S/100.00
Transporte a campo	7	S/100.00	S/700.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/2130.00</b>

Personal que desarrollo en el proyecto de tesis:

Tabla N° 5. 7 Costo por honorario por cada alumno tesista

<b>CATEGORIA</b>	<b>SALARIO MENSUAL</b>	<b>% de jornada</b>	<b>TIEMPO (Semanal)</b>	<b>Costo TOTAL</b>
Alumno tesista 1	S/500.00	100	1	S/500.00
Alumno tesista 2	S/500.00	100	1	S/500.00
Alumno tesista 3	S/500.00	100	1	S/500.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/1500.00</b>

Considerando los gastos por logística, equipos y los costos por honorarios, suman un total de S/3630.00.

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **a. Contrastación de hipótesis con los resultados.**

Para el diseño del sistema de radioenlaces en la banda 400 MHz en las estaciones de SEDAPAL en Cieneguilla, se ha verificado la Línea de Vista de los enlaces propuestos con un estudio del relieve en la zona propuesta y a través de cálculos demostrados.

Se ha comprobado la viabilidad de los enlaces calculando los perfiles de enlace, Zona de Fresnel y la disponibilidad del sistema en la banda de 400 MHz, se ha demostrado un nivel de confiabilidad del sistema propuesto del 99.95%.

Se ha realizado los cálculos de electrónica digital, diseño de los radioenlaces y de radio propagación, utilizado como herramienta de diseño el software RADIO MOBILE, para así verificar las características adecuadas de los equipos que serán necesarios en el proyecto.

Mediante el uso de Analizadores de Espectro se ha verificado el comportamiento de la banda licenciada en 400 Mhz en la zona del proyecto, para detectar las interferencias, canales ocupados por otros sistemas de comunicaciones presentes, y así elegir del espectro los canales disponibles para la comunicación de nuestro sistema.

El diseño del sistema de radioenlaces en la banda 400 MHz permitió el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL, ello queda demostrado a través del estudio de tráfico de datos realizado con el software WIRESHARK que midió la velocidad efectiva de transferencia de datos (throughput), a pesar que la banda licenciada en el estudio posee un ancho de banda limitado.

**b. Contrastación de resultados con otros estudios similares.**

Se analizó los resultados de la tesis de la Pontífice Universidad Católica del Perú - “DISEÑO DE RADIOENLACE MICROONDAS ISLA SAN LORENZO – CAMPUS PUCP PARA EL PROYECTO PERU MAGNETO” de Ricardo Erick Díaz Vargas, según las conclusiones se demuestra que el medio de comunicación es adecuado y económico en comparación a si usáramos fibra óptica o satelital. El sistema tiene un nivel de confiabilidad de 99.95% lo que lo hace viable y factible en el ancho de banda elegido.

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

- Se diseñó un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz para el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla.
- El diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz permite el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla requirió de un software licenciado.
- Los niveles óptimos de los enlaces garantizan el 99.95% de confiabilidad del sistema planteado, esto siguiendo los parámetros de diseño de los radioenlaces.
- Se determinó el ancho de banda y la transferencia efectiva (throughput) de los enlaces permite el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla esta medición se realizó con el software Wireshark.
- Se determinó que el tiempo de carga y descarga de un archivo de PLC desde la estación cabecera hacia las estaciones remotas sin interrumpir el monitoreo y control de las otras estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.

## **CAPITULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

- Para mantener un alto grado de confiabilidad de la aplicación Modbus TCP/Gestión de activos se debe limitar el tráfico innecesario en el canal inalámbrico. Esto se puede lograr utilizando la funcionalidad de router que viene integrada a los radios. Los radios operan en modo bridge y en modo router, siendo el segundo modo de operación el recomendado para poder aislar el tráfico broadcast que debe quedar confinado a una determinada interface.
- Se recomienda que los niveles de la recepción o RSSI se mantenga en un valor entre -55 y -65 dBm en el caso de obtenerse valores más altos las antenas deberán desalinearse un poco para no saturar el enlace.

## CAPITULO IX

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Albornoz, J. (2013). Radioenlaces Digitales - Primera Parte. Saarbrücken: Editorial Académica Española.
- [2]. López Vázquez, J. (2015). El radioenlace en la red de acceso GSM (3rd ed.). Madrid, España.
- [3]. Ramos Pascual, F. (2015). Radiocomunicaciones. Barcelona: Marcombo.
- [4]. Lozano Garcia, A. (2002). "Sistemas de propagación y diseño de antenas enfocado al análisis de enlaces de comunicación." Para obtener el grado de maestro en ciencias de la ingeniería con especialidad en telecomunicaciones. Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- [5]. Rodríguez Penin, A. (2007). Sistemas SCADA. Barcelona: Marcombo.
- [6]. Briceño Marquez, J. (2015). Transmisión de datos (3rd ed.). Merida, Venezuela: Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA.
- [7]. Huidobro, J., Millán Tejedor, R., & Roldán Martínez, D. (2005). Tecnologías de telecomunicaciones. [Madrid]: Creaciones Copyright.
- [8]. Díaz Vargas, R. (2015). "Diseño de Radioenlace microondas isla San Lorenzo - Campus PUCP para el proyecto Peru Magneto". Tesis para optar el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones. Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- [9]. Ramos Pascual, F. (2018). Diseño de Radioenlaces. [online] Radiocomunicaciones.net. Disponible en: <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/radioenlaces/disenio-basico-radioenlace.pdf> [Consultado 6 Oct. 2018].
- [10]. Anguera, J. and Pérez, A. (2008). "Teoría de Antenas" 1st ed. Sevilla: Lluís Vicent.
- [11]. Murillo Fuentes, J. (2007). "Fundamentos de radiación y radiocomunicación." 2nd ed. [Sevilla]: Escuela Técnica Superior de Ingenieros.

- [12]. Ruesca, P. (2018). Radio Enlace ¿Que es un Radioenlace? Radiocomunicaciones. [online] Radiocomunicaciones Blog Técnico. Disponible en: <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/radio-enlace-que-es-un-radioenlace/> [Consultado 19 Agosto. 2018].
- [13]. Pietrosemoli, E. (2018). “Como instalar un Radioenlace” [online] Radiocomunicaciones.net. Disponible en: <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/radioenlaces/como-instalar-un-radioenlace.pdf> [Consultado 19 Sep. 2018].
- [14]. Ramos, F. (2012). Bandas de frecuencia y canalizaciones. [Blog] “Tecnologías inalámbricas y diseño de radioenlaces” Disponible en: <http://www.radioenlaces.es/articulos/bandas-de-frecuencia-y-canalizaciones/> [Consultado 16 Agosto. 2018].
- [15]. Gonzales, F. (2015). “Estudio y diseño de un radioenlace para transmisión de datos, e internet en frecuencia libre para la cooperativa indígena Alfa y Omega utilizando equipos Airmax de Ubiquiti” Proyecto previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional.
- [16]. Jorge Luis Galeano Villa (2012). análisis, diseño, simulación y presupuestación de un radio enlace punto a punto entre los Municipios de Belén de Umbría Y Quinchía en el departamento de Risaralda. [online] Pereira. Disponible en: <http://repositorio.ucp.edu.co:8080/jspui/bitstream/10785/1360/3/DDP-AIST17.pdf> [Consultado 22 Aug. 2018].
- [17]. Gerencia de planificación y presupuesto, (2012). Plan de Desarrollo Local Concertado PDLC Cieneguilla 2012-2021.
- [18]. IEEE Std 211-1997,(1997) Standard Definitions of Terms for Radio Wave Propagation.
- [19]. Tomasi, W. (2011). Sistemas De Comunicaciones Electrónicas. 4th ed. Phoenix, Arizona: Pearson Educación de México, SA de CV.
- [20]. Ruesta, P. (2016). ANTENAS DIPOLO – DEFINICIÓN. [Blog] Radio Comunicaciones. Disponible en:

<http://www.radiocomunicaciones.net/radio/antenas-dipolo/>

[Consultado el 10 Sep. 2018].

- [21]. Huidobro Moya, J. (2001). Fundamentos de telecomunicaciones (1st ed.). Madrid: Paraninfo, Thomson Learning.
- [22]. Guzman P., H. (2015). Redes V (1st ed.). Santa Cruz, Bolivia.

## **ANEXOS**

- **Matriz de Consistencia**
- **Especificaciones técnicas de los equipos utilizados**
- **Plan nacional de atribución de frecuencias PNAF**
- **Disposiciones de Radiocanales (Canalizaciones) para los servicios de telecomunicaciones.**

## 1. Matriz de Consistencia.

### “DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACES EN LA BANDA DE 400MHz PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE ESTACIONES DE SEDAPAL EN EL ESQUEMA CIENEGUILLA”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema General:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿De qué manera el sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz, permitirá el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla?</li> </ul> <p>Problemas Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Qué software me permite el diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz que permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla?</li> <li>2. ¿Qué niveles óptimos debe poseer nuestros enlaces para poder garantizar el 99.95% de confiabilidad del sistema planteado?</li> <li>3. ¿Cuáles sería los valores de ancho de banda y la transferencia efectiva de los enlaces permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla?</li> <li>4. ¿Cuáles son los tiempos de carga y descarga de un archivo de PLC desde la estación cabecera hacia las estaciones remotas sin interrumpir el monitoreo y control de las otras estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla?</li> </ol>	<p>Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz para el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla.</li> </ul> <p>Objetivos Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseñar del sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz que permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla utilizando un software licenciado.</li> <li>2. Determinar los niveles óptimos de los enlaces para garantizar el 99.95% de confiabilidad del sistema planteado.</li> <li>3. Determinar el ancho de banda y la transferencia efectiva (throughput) de los enlaces permite el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla.</li> <li>4. Determinar el tiempo de carga y descarga de un archivo de PLC desde la estación cabecera hacia las estaciones remotas sin interrumpir el monitoreo y control de las otras estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.</li> </ol>	<p>Hipótesis General:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz permite el monitoreo y control de estaciones de SEDAPAL del Esquema Cieneguilla, a pesar de que esta banda licenciada posee un ancho de banda demasiado limitado.</li> </ul> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz que permita el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla requiere de un software licenciado.</li> <li>2. • Los niveles óptimos de los enlaces garantizan el 99.95% de confiabilidad de sistema planteado.</li> <li>3. • El ancho de banda y la transferencia efectiva (throughput) de los enlaces permite el monitoreo y control de las estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.</li> <li>4. • Los tiempos de carga y descarga de un archivo de PLC desde la estación cabecera hacia las estaciones remotas no interrumpen el monitoreo y control de las otras estaciones de SEDAPAL del esquema Cieneguilla.</li> </ol>	<p>Variables Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Canales de comunicación en la banda licenciada de 400MHz.</li> <li>-Puntos geográficos de ubicación de estaciones.</li> <li>-Distancia de las estaciones.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Potencia de los equipos de transmisión.</li> <li>-Altura de las antenas.</li> <li>-Ganancia de las antenas de trasmisión y recepción.</li> <li>-Ancho de banda de los radioenlaces.</li> <li>Niveles de recepción del radioenlace.</li> <li>-Velocidad de carga y descarga de un archivo de PLC.</li> <li>-Transmisión efectiva o throughput.</li> </ul>	<p>La investigación que se realizó para hacer este estudio se determina como un proyecto factible en el cual se demostrara los beneficios de este tipo de enlace, este estudio se fundamenta en un estudio cuantitativo tecnológico con niveles de aplicación industrial.</p>

## **2. Especificaciones técnicas de los equipos utilizados:**

### **2.1. FICHA TÉCNICA RADIOS ETHERNET**

- **Banda 400-450 MHz**
  - Tipo Radio : Industrial
  - Aplicación: Telemetría SCADA
  - Montaje Tablero : Indoor
  - Canales que se puede usar : 12.5/25 KHz
  - Modulación : QPSK/16QAM/32QAM
  - Rango Mínimo : 25 Km
  - Velocidad RF (Efectivos) : 100 KBPS
  - Topología soportad : Punto a Punto/Punto Multipunto/Repetidor
  
- **Radio**
  - Ciclo de Trabajo : Continuo
  - Potencia : 20 a 30 dBm (100 mW a 1 W) Valor mínimo
  - Multivelocidad : La maestra deberá tener Multivelocidad de comunicaciones de la maestra con las otras remotas.
  - Impedancia : 50 ohm
  - Sensibilidad (mínima) : 106 dBm
  
- **Interfaz Física**
  - Ethernet : 10/100 Base T
  - Serial : COM1: RS23/RS485 velocidad mín. 38400 bps

- Antena: Conectores: RP-TNC/TNC/SMA/N/BNC. Estará en función de las pruebas de propagación y/o memoria de cálculo.
- **Protocolos**
  - Wireless : CSMA/CA
  - Ethernet : IEEE 802.3, IEEE802.1Q (VLAN)
  - TCP/IP : Modbus TCP, ICMP, UDP, TCP, HTTP, SNMP
  - Serial : Modbus RTU, DNP3
  - Administración : HTTP, SSH, local console y SNMP
- **Eléctrica**
  - Alimentación Maestras, Repetidoras y Remotas : 24 VDC (nativos sin adaptadores)
  - Consideraciones similares: No se admitirá radios POE ni arreglos similares en tablero.

## **2.2. SWITCHES PARA LOS CD, ESTACIONES REMOTAS**

- Switch industrial para ser montado en tableros de telemetría (din/rail)
- Switch LAN FASTETHERNET 8 a más puertos RJ-45 10/100 Mbps (para las estaciones Maestras y cabeceras deberán ser 1000 Mbps con posibilidad de ruteo – Capa 3)
- Switch administrable con operación en las capas 2 y 3 del modelo OSI.
- Auto negociación FULL/HALF-DUPLEX en todos los puertos.
- Leds indicadores de velocidad 10/100.
- Operación entre 0 – 24 VDC (fuentes redundantes) y de -40 a 70 °C.

- Protocolos de ruteo dinámico RIP v1/v2, RIPNG y EIGRP.
- Incluye mecanismos de protección contra DOS.
- Soporte de ACLS por puerto, basados en información de capa 2,3 y 4.
- Administración a través de interface WEB, CLI, SNMP, TELNET y utilitarios Windows.
- Debe soportar protocolos TCP, UDP, ARP, RARP, FTP/TFTP, DHCP, SSH, RMON.
- Deberá cumplir los protocolos industriales: UL 508, CSA 22.2, EN60204-1, EN61010-1. EN61131-2.
- Estándar de certificación de emisiones electromecánicas: FCC PART 15 CLASS A, EN 55022: 1998 (CISPR22).
- Configuración y administración de VLANS.
- Funcionalidad de QOS MULTILAYER. Clasificación de tráfico basada en direcciones MAC de origen y destino (capa 2), direcciones IP de origen y destino (capa 3) y puertos TCP/UDP (capa 4).
- Control de tormentas de BROADCAST, MULTISCAT por puerto.

### **2.3. TORRE AUTOSOPORTADA**

- Galvanizado en caliente Norma ASTM-A123.
- Soportar el grado 9 de magnitud de momento.

- Debe estar acompañada del estudio estructural en donde se realice la instalación.
- Debe contener el estudio de suelos y de cimentación, los cuales deben incluir cálculos estructurales (Richter, velocidad de vientos, tipos de suelos, etc.), los cuales deben estar visados por el especialista estructural.
- Estudio de velocidades de aire a considerar de acuerdo a su altura.
- Deben tener tornillos y pernos en acero inoxidable.
- Toda estructura debe estar revestida con pintura anticorrosiva (marina).
- El diseño de la altura deberá considerar el crecimiento demográfico (5 a 10 años).
- Debe contar con pararrayos.
- Debe contar con luz de balizaje, con tecnología LED industrial (IP65) o solar.
- Para el acabado según requerimiento, en color blanco y naranja en franja de acuerdo al estipulado en las Normas de la Organización Aeronáutica Civil – OACI.

#### **2.4. TORRE VENTADA PESADA**

- Tipo: PESADO.
- Galvanizado en caliente Norma ASTM-A123.
- Mínimo lado de 30x30 cm.

- Se podrá usar templadores rígidos de hierro galvanizado caliente.
- En caso de usar templadores serán de acero inoxidable.
- Los sujetadores serán de acero inoxidable.
- Los tornillos y pernos deberán ser de acero inoxidable.
- Toda la estructura debe estar revestido con pintura anticorrosiva (Marina)
- En caso de superar los 35 m de altura como indica el MTC (salvo varíe la norma) se debe considerar luz de balizaje, con tecnología LED industrial o solar.
- Para el acabado según requerimiento, en color blanco y naranja en franjas de acuerdo a lo estipulado en las Normas de las Organización Aeronáutica Civil – OACI.
- El diseño de la altura deberá considerar el crecimiento demográfico (5 a 10 años).

## **2.5. POSTES PARA TELECOMUNICACIONES**

- Deben cumplir la NTP339, 027.
- El acero y cemento utilizado en la manufactura de postes deberá cumplir con las NTP 334.009, 334.082, 334.090, 341.029, 341.030, 341.931 y 350.002.
- Mástiles de 6 m de hierro galvanizado, abrazaderas y pernos en acero inoxidable.

- El diseño de la altura deberá considerar el crecimiento demográfico (5 a 10 años).

### **3. PLAN NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS PNAF**

#### **CAPITULO I**

#### **TERMINOLOGIA**

#### **ARTICULO 1**

#### **TERMINOS Y DEFINICIONES**

Sección II. Términos específicos relativos a la gestión de frecuencias

2.1 Atribución (de una banda de frecuencias): Inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios servicios de Radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía en condiciones especificadas. Este término se aplica también a la banda de frecuencias considerada.

2.2 Adjudicación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): Inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado para un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinados y según condiciones especificadas.

2.3 Asignación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): Autorización que se da para que una estación radioeléctrica utilice una

frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

### Sección III. Servicios radioeléctricos

3.1 Servicio de radiocomunicación: Servicio definido en esta sección que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación. Todo servicio de Radiocomunicación que se mencione en el presente Plan, salvo indicación expresa en contrario, corresponde a una radiocomunicación terrenal

3.2 Servicio fijo: Servicio de Radiocomunicación entre puntos fijos determinados.

**4. DISPOSICIONES DE RADIOCANALES (CANALIZACIONES) PARA LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES.**

**Banda 401,000 - 406,000 MHz (SERVICIO: FIJO, MOVIL salvo móvil aeronáutico)\***

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz
1	401,025	41	402,025	81	403,025	121	404,025	161	405,025
2	401,050	42	402,050	82	403,050	122	404,050	162	405,050
3	401,075	43	402,075	83	403,075	123	404,075	163	405,075
4	401,100	44	402,100	84	403,100	124	404,100	164	405,100
5	401,125	45	402,125	85	403,125	125	404,125	165	405,125
6	401,150	46	402,150	86	403,150	126	404,150	166	405,150
7	401,175	47	402,175	87	403,175	127	404,175	167	405,175
8	401,200	48	402,200	88	403,200	128	404,200	168	405,200
9	401,225	49	402,225	89	403,225	129	404,225	169	405,225
10	401,250	50	402,250	90	403,250	130	404,250	170	405,250
11	401,275	51	402,275	91	403,275	131	404,275	171	405,275
12	401,300	52	402,300	92	403,300	132	404,300	172	405,300
13	401,325	53	402,325	93	403,325	133	404,325	173	405,325
14	401,350	54	402,350	94	403,350	134	404,350	174	405,350
15	401,375	55	402,375	95	403,375	135	404,375	175	405,375
16	401,400	56	402,400	96	403,400	136	404,400	176	405,400
17	401,425	57	402,425	97	403,425	137	404,425	177	405,425
18	401,450	58	402,450	98	403,450	138	404,450	178	405,450
19	401,475	59	402,475	99	403,475	139	404,475	179	405,475
20	401,500	60	402,500	100	403,500	140	404,500	180	405,500
21	401,525	61	402,525	101	403,525	141	404,525	181	405,525
22	401,550	62	402,550	102	403,550	142	404,550	182	405,550
23	401,575	63	402,575	103	403,575	143	404,575	183	405,575
24	401,600	64	402,600	104	403,600	144	404,600	184	405,600
25	401,625	65	402,625	105	403,625	145	404,625	185	405,625
26	401,650	66	402,650	106	403,650	146	404,650	186	405,650
27	401,675	67	402,675	107	403,675	147	404,675	187	405,675
28	401,700	68	402,700	108	403,700	148	404,700	188	405,700
29	401,725	69	402,725	109	403,725	149	404,725	189	405,725
30	401,750	70	402,750	110	403,750	150	404,750	190	405,750
31	401,775	71	402,775	111	403,775	151	404,775	191	405,775
32	401,800	72	402,800	112	403,800	152	404,800	192	405,800
33	401,825	73	402,825	113	403,825	153	404,825	193	405,825
34	401,850	74	402,850	114	403,850	154	404,850	194	405,850
35	401,875	75	402,875	115	403,875	155	404,875	195	405,875
36	401,900	76	402,900	116	403,900	156	404,900	196	405,900
37	401,925	77	402,925	117	403,925	157	404,925	197	405,925
38	401,950	78	402,950	118	403,950	158	404,950	198	405,950
39	401,975	79	402,975	119	403,975	159	404,975	199	405,975
40	402,000	80	403,000	120	404,000	160	405,000		

**Banda 406,100 - 411,675 MHz (SERVICIO: FIJO, MOVIL salvo móvil)**

aeronáutico)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz								
1	406,125	41	407,125	81	408,125	121	409,125	161	410,125
2	406,150	42	407,150	82	408,150	122	409,150	162	410,150
3	406,175	43	407,175	83	408,175	123	409,175	163	410,175
4	406,200	44	407,200	84	408,200	124	409,200	164	410,200
5	406,225	45	407,225	85	408,225	125	409,225	165	410,225
6	406,250	46	407,250	86	408,250	126	409,250	166	410,250
7	406,275	47	407,275	87	408,275	127	409,275	167	410,275
8	406,300	48	407,300	88	408,300	128	409,300	168	410,300
9	406,325	49	407,325	89	408,325	129	409,325	169	410,325
10	406,350	50	407,350	90	408,350	130	409,350	170	410,350
11	406,375	51	407,375	91	408,375	131	409,375	171	410,375
12	406,400	52	407,400	92	408,400	132	409,400	172	410,400
13	406,425	53	407,425	93	408,425	133	409,425	173	410,425
14	406,450	54	407,450	94	408,450	134	409,450	174	410,450
15	406,475	55	407,475	95	408,475	135	409,475	175	410,475
16	406,500	56	407,500	96	408,500	136	409,500	176	410,500
17	406,525	57	407,525	97	408,525	137	409,525	177	410,525
18	406,550	58	407,550	98	408,550	138	409,550	178	410,550
19	406,575	59	407,575	99	408,575	139	409,575	179	410,575
20	406,600	60	407,600	100	408,600	140	409,600	180	410,600
21	406,625	61	407,625	101	408,625	141	409,625	181	410,625
22	406,650	62	407,650	102	408,650	142	409,650	182	410,650
23	406,675	63	407,675	103	408,675	143	409,675	183	410,675
24	406,700	64	407,700	104	408,700	144	409,700	184	410,700
25	406,725	65	407,725	105	408,725	145	409,725	185	410,725
26	406,750	66	407,750	106	408,750	146	409,750	186	410,750
27	406,775	67	407,775	107	408,775	147	409,775	187	410,775
28	406,800	68	407,800	108	408,800	148	409,800	188	410,800
29	406,825	69	407,825	109	408,825	149	409,825	189	410,825
30	406,850	70	407,850	110	408,850	150	409,850	190	410,850
31	406,875	71	407,875	111	408,875	151	409,875	191	410,875
32	406,900	72	407,900	112	408,900	152	409,900	192	410,900
33	406,925	73	407,925	113	408,925	153	409,925	193	410,925
34	406,950	74	407,950	114	408,950	154	409,950	194	410,950
35	406,975	75	407,975	115	408,975	155	409,975	195	410,975
36	407,000	76	408,000	116	409,000	156	410,000	196	411,000
37	407,025	77	408,025	117	409,025	157	410,025	197	411,025
38	407,050	78	408,050	118	409,050	158	410,050	198	411,050
39	407,075	79	408,075	119	409,075	159	410,075	199	411,075
40	407,100	80	408,100	120	409,100	160	410,100	200	411,100

Banda 406,100 - 411,675 MHz (SERVICIO: FIJO, MOVIL salvo móvil)

aeronáutico)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz								
201	411,125	206	411,250	211	411,375	216	411,500	221	411,625
202	411,150	207	411,275	212	411,400	217	411,525	222	411,650
203	411,175	208	411,300	213	411,425	218	411,550		
204	411,200	209	411,325	214	411,450	219	411,575		
205	411,225	210	411,350	215	411,475	220	411,600		

**Banda 420,000 - 421,675 MHz (SERVICIO: FIJO, MOVIL salvo móvil aeronáutico)**

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz								
1	420,025	16	420,400	31	420,775	46	421,150	61	421,525
2	420,050	17	420,425	32	420,800	47	421,175	62	421,550
3	420,075	18	420,450	33	420,825	48	421,200	63	421,575
4	420,100	19	420,475	34	420,850	49	421,225	64	421,600
5	420,125	20	420,500	35	420,875	50	421,250	65	421,625
6	420,150	21	420,525	36	420,900	51	421,275	66	421,650
7	420,175	22	420,550	37	420,925	52	421,300		
8	420,200	23	420,575	38	420,950	53	421,325		
9	420,225	24	420,600	39	420,975	54	421,350		
10	420,250	25	420,625	40	421,000	55	421,375		
11	420,275	26	420,650	41	421,025	56	421,400		
12	420,300	27	420,675	42	421,050	57	421,425		
13	420,325	28	420,700	43	421,075	58	421,450		
14	420,350	29	420,725	44	421,100	59	421,475		
15	420,375	30	420,750	45	421,125	60	421,500		

**Banda 440,000 - 450,000 MHz (SERVICIO: FIJO, MOVIL salvo móvil aeronáutico)**

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz								
1	440,025	41	441,025	81	442,025	121	443,025	161	444,025
2	440,050	42	441,050	82	442,050	122	443,050	162	444,050
3	440,075	43	441,075	83	442,075	123	443,075	163	444,075
4	440,100	44	441,100	84	442,100	124	443,100	164	444,100
5	440,125	45	441,125	85	442,125	125	443,125	165	444,125
6	440,150	46	441,150	86	442,150	126	443,150	166	444,150
7	440,175	47	441,175	87	442,175	127	443,175	167	444,175
8	440,200	48	441,200	88	442,200	128	443,200	168	444,200
9	440,225	49	441,225	89	442,225	129	443,225	169	444,225
10	440,250	50	441,250	90	442,250	130	443,250	170	444,250
11	440,275	51	441,275	91	442,275	131	443,275	171	444,275
12	440,300	52	441,300	92	442,300	132	443,300	172	444,300
13	440,325	53	441,325	93	442,325	133	443,325	173	444,325
14	440,350	54	441,350	94	442,350	134	443,350	174	444,350
15	440,375	55	441,375	95	442,375	135	443,375	175	444,375
16	440,400	56	441,400	96	442,400	136	443,400	176	444,400
17	440,425	57	441,425	97	442,425	137	443,425	177	444,425
18	440,450	58	441,450	98	442,450	138	443,450	178	444,450
19	440,475	59	441,475	99	442,475	139	443,475	179	444,475
20	440,500	60	441,500	100	442,500	140	443,500	180	444,500
21	440,525	61	441,525	101	442,525	141	443,525	181	444,525
22	440,550	62	441,550	102	442,550	142	443,550	182	444,550
23	440,575	63	441,575	103	442,575	143	443,575	183	444,575
24	440,600	64	441,600	104	442,600	144	443,600	184	444,600
25	440,625	65	441,625	105	442,625	145	443,625	185	444,625
26	440,650	66	441,650	106	442,650	146	443,650	186	444,650
27	440,675	67	441,675	107	442,675	147	443,675	187	444,675
28	440,700	68	441,700	108	442,700	148	443,700	188	444,700
29	440,725	69	441,725	109	442,725	149	443,725	189	444,725
30	440,750	70	441,750	110	442,750	150	443,750	190	444,750
31	440,775	71	441,775	111	442,775	151	443,775	191	444,775
32	440,800	72	441,800	112	442,800	152	443,800	192	444,800
33	440,825	73	441,825	113	442,825	153	443,825	193	444,825
34	440,850	74	441,850	114	442,850	154	443,850	194	444,850
35	440,875	75	441,875	115	442,875	155	443,875	195	444,875
36	440,900	76	441,900	116	442,900	156	443,900	196	444,900
37	440,925	77	441,925	117	442,925	157	443,925	197	444,925
38	440,950	78	441,950	118	442,950	158	443,950	198	444,950
39	440,975	79	441,975	119	442,975	159	443,975	199	444,975
40	441,000	80	442,000	120	443,000	160	444,000	200	445,000

**Banda 440,000 - 450,000 MHz (SERVICIO: FIJO, MOVIL salvo móvil aeronáutico)**

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 25 kHz
201	445,025	241	446,025	281	447,025	321	448,025	361	449,025
202	445,050	242	446,050	282	447,050	322	448,050	362	449,050
203	445,075	243	446,075	283	447,075	323	448,075	363	449,075
204	445,100	244	446,100	284	447,100	324	448,100	364	449,100
205	445,125	245	446,125	285	447,125	325	448,125	365	449,125
206	445,150	246	446,150	286	447,150	326	448,150	366	449,150
207	445,175	247	446,175	287	447,175	327	448,175	367	449,175
208	445,200	248	446,200	288	447,200	328	448,200	368	449,200
209	445,225	249	446,225	289	447,225	329	448,225	369	449,225
210	445,250	250	446,250	290	447,250	330	448,250	370	449,250
211	445,275	251	446,275	291	447,275	331	448,275	371	449,275
212	445,300	252	446,300	292	447,300	332	448,300	372	449,300
213	445,325	253	446,325	293	447,325	333	448,325	373	449,325
214	445,350	254	446,350	294	447,350	334	448,350	374	449,350
215	445,375	255	446,375	295	447,375	335	448,375	375	449,375
216	445,400	256	446,400	296	447,400	336	448,400	376	449,400
217	445,425	257	446,425	297	447,425	337	448,425	377	449,425
218	445,450	258	446,450	298	447,450	338	448,450	378	449,450
219	445,475	259	446,475	299	447,475	339	448,475	379	449,475
220	445,500	260	446,500	300	447,500	340	448,500	380	449,500
221	445,525	261	446,525	301	447,525	341	448,525	381	449,525
222	445,550	262	446,550	302	447,550	342	448,550	382	449,550
223	445,575	263	446,575	303	447,575	343	448,575	383	449,575
224	445,600	264	446,600	304	447,600	344	448,600	384	449,600
225	445,625	265	446,625	305	447,625	345	448,625	385	449,625
226	445,650	266	446,650	306	447,650	346	448,650	386	449,650
227	445,675	267	446,675	307	447,675	347	448,675	387	449,675
228	445,700	268	446,700	308	447,700	348	448,700	388	449,700
229	445,725	269	446,725	309	447,725	349	448,725	389	449,725
230	445,750	270	446,750	310	447,750	350	448,750	390	449,750
231	445,775	271	446,775	311	447,775	351	448,775	391	449,775
232	445,800	272	446,800	312	447,800	352	448,800	392	449,800
233	445,825	273	446,825	313	447,825	353	448,825	393	449,825
234	445,850	274	446,850	314	447,850	354	448,850	394	449,850
235	445,875	275	446,875	315	447,875	355	448,875	395	449,875
236	445,900	276	446,900	316	447,900	356	448,900	396	449,900
237	445,925	277	446,925	317	447,925	357	448,925	397	449,925
238	445,950	278	446,950	318	447,950	358	448,950	398	449,950
239	445,975	279	446,975	319	447,975	359	448,975	399	449,975
240	446,000	280	447,000	320	448,000	360	449,000		