



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Diseño e implementación de una red híbrida de telemetría basada en Ethernet para empresas operadoras de sistemas de AAPP y AASS en áreas metropolitanas

AUTOR:

Ing. León Cáceres, Edward David

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio

Guayaquil, Ecuador

20 de noviembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **León Cáceres, Edward David** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 20 de noviembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **León Cáceres, Edward David**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Diseño e implementación de una red híbrida de telemetría basada en Ethernet para empresas operadoras de sistemas de AAPP y AASS en áreas metropolitanas**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 20 de noviembre del 2018

EL AUTOR

León Cáceres, Edward David



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **León Cáceres, Edward David**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulada: **“Diseño e implementación de una red híbrida de telemetría basada en Ethernet para empresas operadoras de sistemas de AAPP y AASS en áreas metropolitanas”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 20 de noviembre del 2018

EL AUTOR

León Cáceres, Edward David

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are displayed: **Documento**: Titulación-Edward León.docx (D42008487); **Presentado**: 2018-10-01 21:00 (-05:00); **Presentado por**: edwardleon@gmail.com; **Recibido**: luis.cordova.ucsg@analysis.orkund.com. A summary states: "1% de estas 35 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes." On the right, the "Lista de fuentes" (List of sources) is shown, listing items like "Proyecto Titulación-Hernán Pastor d...", "TESIS RONNY TOAPANTA FINAL.doc", "IT- Katherine Painii.docx", and a URL from bibdigital.epn.edu.ec. The interface includes a toolbar at the bottom with icons for search, navigation, and actions like "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir". A yellow warning box at the bottom right indicates "1 Advertencias".

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE
GUAYAQUIL SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN
TELECOMUNICACIONES

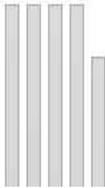
TEMA: Diseño e implementación de una red híbrida
de telemetría basada en Ethernet para empresas
operadoras de sistemas de AAPP y AASS en áreas
metropolitanas

AUTOR: Ing. León Cáceres, Edward David

Trabajo de Titulación previo a

la obtención del Grado Académico de Magister en
Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio



Agradecimientos

A mis compañeros de trabajo, en especial al Ing. Holger Cruz, ¡gracias por su apoyo!

Y muy en especial a mi tutor, MSc. Luis Córdova Rivadeneira y al director de la Maestría, MSc. Manuel Romero Paz su guía y don de gente es invaluable.

León Cáceres, Edward David

Dedicatoria

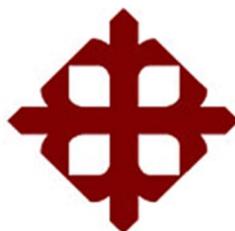
A DIOS, por sobre todas las cosas, a mis amores chiquitos, mis hijos por ser fuente de mi inspiración y motivación para poder alcanzar las metas que me he propuesto.

A mis padres, que con paciencia supieron inculcar en sus hijos buenos valores.

Al Sol de mi vida, Mi Paciencia y Mi Consejo, quien, con sus palabras de aliento, no me dejaba decaer para que siguiera adelante y cumpla con mis ideales, ¡solo quiero decir GRACIAS! Por motivarme día a día.

A cada una de las personas con las que comparto y he compartido en algún momento de mi vida.

León Cáceres, Edward David



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. SC. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
TUTOR

f. _____

M. SC. EDWIN FERNANDO PALACIOS MELENDEZ
REVISOR

f. _____

M. SC. NESTOR ARMANDO ZAMORA CEDEÑO
REVISOR

f. _____

M. SC. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas.....	XV
Resumen	XVI
Abstract.....	XVII
Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes del problema a investigar.	2
1.3. Definición del problema.	7
1.4. Justificación del problema.	7
1.5. Objetivos.	8
1.5.1. Objetivo general.....	8
1.5.2. Objetivos específicos.....	8
1.6. Hipótesis.....	9
1.7. Metodología de investigación.....	9
Capítulo 2: Fundamentación Teórico de RF y Telemetría.	10
2.1. Visión general de Radiofrecuencia.....	10
2.2. Fundamentos de radiofrecuencia (RF).....	10
2.3. La estación de telemetría y tierra.	12
2.4. Componentes de un enlace de radio.....	13
2.5. Redes TCP/IP.	16
2.5.1. Protocolo de control de transmisión (TCP).....	18
2.5.2. Direccionamiento.....	22
2.5.3. Flujo de datos interactivo en TCP.....	24
2.6. Configuraciones del sistema de telemetría.....	24
2.6.1. Transmisor individual – antena individual.....	25
2.6.2. Múltiples transmisores – antenas independientes.....	25

2.6.3.	Transmisor individual – múltiples antenas.....	26
2.6.4.	Múltiples transmisores – antena individual.	27
2.6.5.	Múltiples transmisores – múltiples antenas.	28
2.6.6.	Sistemas complejos de transmisión de telemetría.....	29
2.7.	El medio inalámbrico.....	30
2.7.1.	Capacidad.	30
2.7.2.	Pérdida en la trayectoria.....	31
2.7.3.	Degradaciones de transmisión.	32
CAPÍTULO 3: Diseño del sistema de telemetría		36
3.1.	Diseño de la red.	36
3.2.	Arquitectura del sistema.....	37
3.3.	Topología de la estación remota.	42
3.4.	Topología interna de la repetidora.....	42
3.5.	Topología interna del servidor.	43
3.6.	Arquitectura Integrada.....	43
3.7.	Planeación de frecuencias.	44
3.8.	Demanda del tráfico.	44
3.9.	Ubicación de las repetidoras.	45
3.9.1.	Repetidora en cerro azul.	46
3.9.2.	Repetidora en mapasingue este.....	46
3.9.3.	Repetidora en cerro las cabras.....	47
3.9.4.	Repetidora en la Trinitaria	47
3.9.5.	Repetidora en voluntad de Dios.....	48
3.9.6.	Repetidora 85-110 en la Flor de Bastión Norte.....	48
3.9.7.	Repetidora Booster en el Carmen.	49
3.9.8.	Cobertura de la Ciudad.....	49
3.9.9.	Ubicación de los suscriptores.	50

3.10. Análisis de cobertura del sistema.....	51
3.10.1. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – Booster de Flor de Bastión Norte.....	51
3.10.2. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – 35-60 de Flor de Bastión Norte.....	53
3.10.3. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – 60-85 de Flor de Bastión Norte.....	54
3.10.4. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio Mi Lote.....	55
3.10.5. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio San Francisco Alto.....	57
3.10.6. Enlace de repetidora Trinitaria – PTAR Las Exclusas.....	58
3.10.7. Enlace de repetidora Voluntad de Dios – PTAR Los Merinos. ..	59
3.10.8. Enlace de repetidora Voluntad de Dios – EB AALL Alborada XIII.....	60
3.10.9. Enlace de repetidora Trinitaria – EBAR Pradera.....	61
3.11. Inversión requerida y costo de capital.....	63
3.12. Gestión de la Red implementada.....	65
Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	71
Bibliografía.....	72

Índice de Figuras

Capítulo 1:

Figura 1. 1: Procesamiento del agua.	3
Figura 1. 2: Vista general de una estación de bombeo.....	4
Figura 1. 3: Vista general de una red inalámbrica utilizando SCADA.	5

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Modelo de sistema de radiofrecuencia (RF) de telemetría.	10
Figura 2. 2: Tipo de antena alimentada por bocina.....	14
Figura 2. 3: Equipos utilizados para Tx de enlaces de radio de montaje dividido.....	14
Figura 2. 4: Equipos Sielco para Rx de enlaces de radio.	15
Figura 2. 5: Conjunto de protocolos de control de transmisión/internet (TCP/IP).....	17
Figura 2. 6: Modelo OSI y TCP/IP.....	18
Figura 2. 7: Modelo OSI y TCP/IP.....	19
Figura 2. 8: Descripción gráfica del sistema especial de ventana deslizante. ..	21
Figura 2. 9: Clases de direcciones IP.	23
Figura 2. 10: Configuración de transmisor y antena individuales.....	25
Figura 2. 11: Configuración de múltiples transmisores y antenas independientes.....	26
Figura 2. 12: Configuración de transmisor individual y múltiples antenas.....	27
Figura 2. 13: Configuración de múltiples transmisores y antena individual.....	28
Figura 2. 14: Configuración de múltiples transmisores y múltiples antenas.....	29
Figura 2. 15: Configuración del sistema complejo de transmisión de telemetría.	30
Figura 2. 16: Efectos causados por el entorno físico.	34

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Modelo del diseño de una red de datos.	36
Figura 3. 2: Arquitectura del sistema de red a implementar.....	37
Figura 3. 3: Espectro de potencia de la señal óptica transmitida.....	38
Figura 3. 4: Antena de frecuencia 900 MHz.....	39

Figura 3. 5: Cable coaxial.	40
Figura 3. 6: Supresor de transientes o transitorios.	41
Figura 3. 7: Pararrayos, antena y puesta a tierra.....	41
Figura 3. 8: Topología interna de la estación remota del sistema de telemetría.....	42
Figura 3. 9: Topología interna de repetidora del sistema de telemetría.....	43
Figura 3. 10: Topología de los equipos del servidor.	43
Figura 3. 11: Arquitectura integrada del sistema de telemetría.....	44
Figura 3. 12: Ubicación geográfica de la repetidora en Cerro Azul.....	46
Figura 3. 13: Ubicación geográfica de la repetidora en Cerro Mapasingue este.	47
Figura 3. 14: Ubicación geográfica de la repetidora en Cerro Las Cabras.	47
Figura 3. 15: Ubicación geográfica de la repetidora en la Trinitaria.	48
Figura 3. 16: Ubicación geográfica de la repetidora en Voluntad de Dios.	48
Figura 3. 17: Ubicación geográfica de la repetidora en Flor de Bastión Norte. .	49
Figura 3. 18: Ubicación geográfica de la repetidora en el Carmen.	49
Figura 3. 19: Ubicación geográfica de la cobertura en la Ciudad de Guayaquil.....	50
Figura 3. 20: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – Booster de Flor de Bastión Norte.....	52
Figura 3. 21: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y Booster en la Flor de Bastión Norte.	52
Figura 3. 22: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – 35-60 de Flor de Bastión Norte.	53
Figura 3. 23: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y 35-60 en la Flor de Bastión Norte.	54
Figura 3. 24: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – 60-85 de Flor de Bastión Norte.	55
Figura 3. 25: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y 60-85 de Flor de Bastión Norte.	55
Figura 3. 26: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio Mi Lote.	56
Figura 3. 27: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y Booster en la Flor de Bastión Norte.	56

Figura 3. 28: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio San Francisco Alto.	57
Figura 3. 29: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio San Francisco Alto.	58
Figura 3. 30: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio San Francisco Alto.	58
Figura 3. 31: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio San Francisco Alto.	59
Figura 3. 32: Simulación del enlace de la repetidora Voluntad de Dios – PTAR Los Merinos.	60
Figura 3. 33: Detalles del enlace entre repetidora Voluntad de Dios – PTAR Los Merinos.	60
Figura 3. 34: Simulación del enlace de la repetidora Voluntad de Dios – EB AALL Alborada XIII.	61
Figura 3. 35: Detalles del enlace entre repetidora Voluntad de Dios – EB AALL Alborada XIII.	61
Figura 3. 36: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio San Francisco Alto.	62
Figura 3. 37: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y Booster en la Flor de Bastión Norte.	62
Figura 3. 38: Parámetros de monitoreo elegidos en el sistema de telemetría. .	66
Figura 3. 39: Parámetros de gestión para un dispositivo del sistema de telemetría.	67
Figura 3. 40: Parámetros PING.	67
Figura 3. 41: Parámetros PING, historial de consumo.	68

Índice de Tablas

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Direcciones para redes privadas.....	23
--	----

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Consumo de ancho de banda por tarea ejecutada.	44
Tabla 3. 2: Consumo de ancho de banda por tarea ejecutada.	45
Tabla 3. 3: Listado de los servidores y de las posibles repetidoras.	45
Tabla 3. 4: Listado de los suscriptores iniciales del sistema de telemetría. .	50
Tabla 3. 5: Equipos de comunicaciones a utilizar en repetidoras.	63
Tabla 3. 6: Costos de anillos de fibra óptica.	63
Tabla 3. 7: Costos de diferentes tipos de estructuras para montaje de antenas.....	64
Tabla 3. 8: Equipos de comunicaciones de las estaciones telemétricas.....	64
Tabla 3. 9: Proyección de costos totales.	65
Tabla 3. 10: Estaciones gestionadas.	66
Tabla 3. 11: Parámetros de gestión del sistema de telemetría elegido.....	66

Resumen

El presente trabajo tuvo como propósito el diseño e implementación de una red híbrida de telemetría basada en Ethernet para empresas operadoras de sistemas de agua potable y servidas en áreas metropolitanas como en este caso lo es Guayaquil. En el capítulo 1, se realizó la descripción del proyecto de intervención. En el capítulo 2, se describió los fundamentos teóricos de radiofrecuencia (RF) y de los sistemas de telemetría basados en diferentes topologías. En el capítulo 3, se realiza el diseño e implementación de la red híbrida de telemetría, en el cual se incluyen la arquitectura del sistema, topologías internas de la estación remota, repetidora y del servidor, planeación de frecuencias, demanda del tráfico, ubicación de las repetidoras, análisis de propagación de la cobertura del sistema utilizando el software Radio Mobile para los enlaces entre las diferentes estaciones remotas utilizadas en el proyecto, la inversión requerida y del sistema de gestión de la red implementada.

Palabras claves: REDES, TELEMETRÍA, ETHERNET, ESTACIONES REMOTAS, REPETIDORAS, PROPAGACIÓN.

Abstract

The purpose of this paper was the design and implementation of a hybrid Ethernet-based telemetry network for companies operating potable water systems and served in metropolitan areas, as in this case Guayaquil. In chapter 1, the description of the intervention project was made. In Chapter 2, the theoretical fundamentals of radio frequency (RF) and telemetry systems based on different topologies were described. In Chapter 3, the design and implementation of the hybrid telemetry network is carried out, which includes the system architecture, internal topologies of the remote station, relay station and server, frequency planning, traffic demand, location of the repeaters, propagation analysis of the system coverage using the Radio Mobile software for the links between the different remote stations used in the project, the required investment and the network management system implemented.

Keywords: NETWORKS, TELEMETRY, ETHERNET, REMOTE STATIONS, REPEATERS, PROPAGATION.

Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención

1.1. Introducción

Existe un gran número de aplicaciones y proyectos que por su función exigen medir y controlar de manera remota magnitudes físicas. Esto se debe principalmente a que cualquier variación en el proceso, puede ser crítica por lo que el monitoreo constante, es indispensable. Considerando esta realidad el recurso humano que pueda asignarse a esta tarea resulta limitante y por lo tanto ineficiente al momento de controlar y tomar decisiones in situ. Para atenuar esta situación se cuenta con tecnologías que permiten desarrollar estas operaciones vía remota.

A este conjunto de técnicas para la medida a distancia de magnitudes físicas se le conoce como Telemetría (RAE, 2017). Dichos servicios de comunicaciones para redes de Telemetría, integrados a un Sistema de Adquisición de Datos, Control y Supervisión (SCADA) y a los sensores instalados en el campo, forman un todo con el que se obtiene el control total de las operaciones de un proceso.

Un pilar fundamental en este conjunto de técnicas es la red de datos por la cual fluye la información a transmitir, siendo justamente esta red, el objeto de este estudio.

El presente documento se centrará en la red de Telemetría de una empresa operadora de los servicios de AAPP y AASS de una ciudad con más de 3 millones de habitantes, que, actualmente posee una red de datos instalada a base de Radio Módems con comunicación serial; pero, por crecimiento y migración de tecnología se proyecta implementar una nueva red con Radio Modem basados en la tecnología Ethernet.

1.2. Antecedentes del problema a investigar.

Para entender mejor el alcance del presente trabajo de titulación, se debe revisar la operación global del lugar a ser intervenido. La empresa en la

que se centra el trabajo se encarga de la operación y el mantenimiento de los sistemas de captación, tratamiento y distribución de agua potable, así como también realiza el mantenimiento de las redes de AASS y AALL de una ciudad de mediana población. Siendo el agua, un recurso vital para toda la actividad humana, debe ser extraída o captada, pasar por un tratamiento para potabilizarla, transportarla a lugares de almacenamiento para ser luego distribuida y una vez utilizada, se debe regresar a la naturaleza lo más limpia posible, tal como se observa en la figura 1.1.

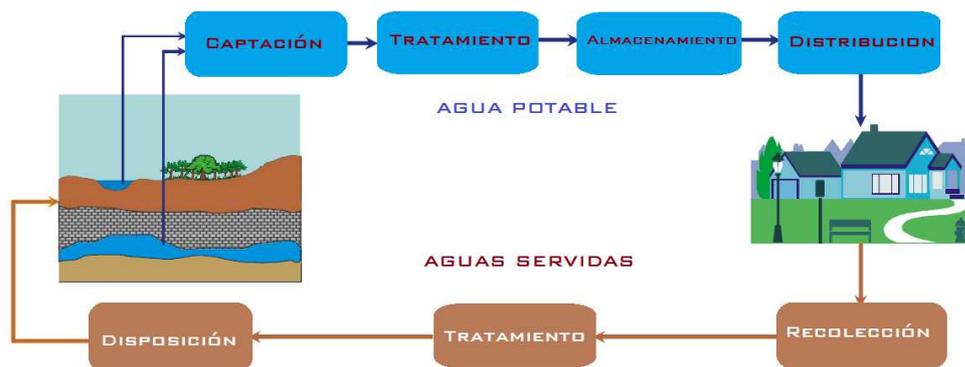


Figura 1. 1: Procesamiento del agua.

Fuente: (Juxeo, 2017)

Elaborado por: Autor

Claramente diferenciadas en la imagen, el ciclo del agua consta a menudo de dos fases independientes entre sí:

- ✓ Producción de agua potable limpia
- ✓ Reciclaje de aguas residuales

No siempre, las fuentes de captación están cerca para su explotación por lo que, para que exista suministro de agua en todas las épocas del año, es necesario multiplicar los puntos de captación o suministro. Esto da lugar a procesos que utilizan infraestructuras extendidas. La infraestructura referida se desglosa en diferentes estaciones, que pueden ser de bombeo de agua potable, estaciones de medición o macro medición del producto entregado, o estaciones de bombeo de Aguas residuales, a todos estos elementos se denominan **SITIOS REMOTOS** o **ESTACIONES REMOTAS**, las cuales son locaciones aisladas, distribuidas por todo Guayaquil y en las afueras de la ciudad. Cada estación remota posee un controlador o cerebro que realiza las funciones de procesamiento de señales de datos, comunicaciones y lectura

de la instrumentación de campo. Además, cada una de estas estaciones cuenta con elementos de control tales como actuadores, válvulas, variadores de velocidad o Arrancadores Suaves utilizados para el control y operación de las Bombas y demás equipos

Un ejemplo de una estación de bombeo de AAPP es cuando en un sector, se necesita mantener una presión adecuada pero la Red de AAPP no cumple con el mínimo de presión requerido, por lo que se construye una estación que se denomina como Booster, o elevador de presión, todos los datos operacionales obtenidos de esta estación son enviados a una sala de control que observa su correcto desempeño.



Figura 1. 2: Vista general de una estación de bombeo.

Fuente: (Teximco, 2017)

Elaborado por: Autor

Luego de que el agua potable cumple alguna función, el agua residual se direcciona a estaciones de bombeo de AASS que por medio de una cadena de estaciones el agua servida es transportada hasta llegar a una planta de tratamiento, donde el agua recolectada es tratada para luego disponerla en un lugar adecuado.

Como se indicaba en líneas anteriores SCADA es un Sistema de Adquisición de Datos, Control y Supervisión, que forman parte de todo el aparato tecnológico requerido para el control total de las operaciones de un proceso. La implementación de una red de SCADA amplia, puede ser una tarea relativamente simple, si se pudiese contar con recursos financieros ilimitados para usar los medios de comunicación óptimos sin reparar en el

costo. Sin embargo, cuando la topografía del terreno es irregular y el sistema es complejo, llama al uso de los medios de comunicación inalámbricos, para lo cual, la aplicación requiere conocimientos especiales.

Es importante indicar que la construcción de la infraestructura necesaria para toda la telemetría puede llegar a ser costosa, y se debe ser consciente de que incluso una red de alto costo no garantiza que el sistema SCADA funcionará de forma óptima y segura. Si bien los equipos terminales (Controladores) pueden funcionar con una variedad de medios de comunicación, no ofrecen un rendimiento idéntico cuando se trata de la fiabilidad DATO-SCADA. Las comunicaciones inalámbricas de datos en sistemas SCADA requieren el uso de técnicas de información únicas y un protocolo de datos robusto. Por lo tanto, cuando se utiliza para SCADA, no todas las redes inalámbricas ofrecen un rendimiento de operación confiable.

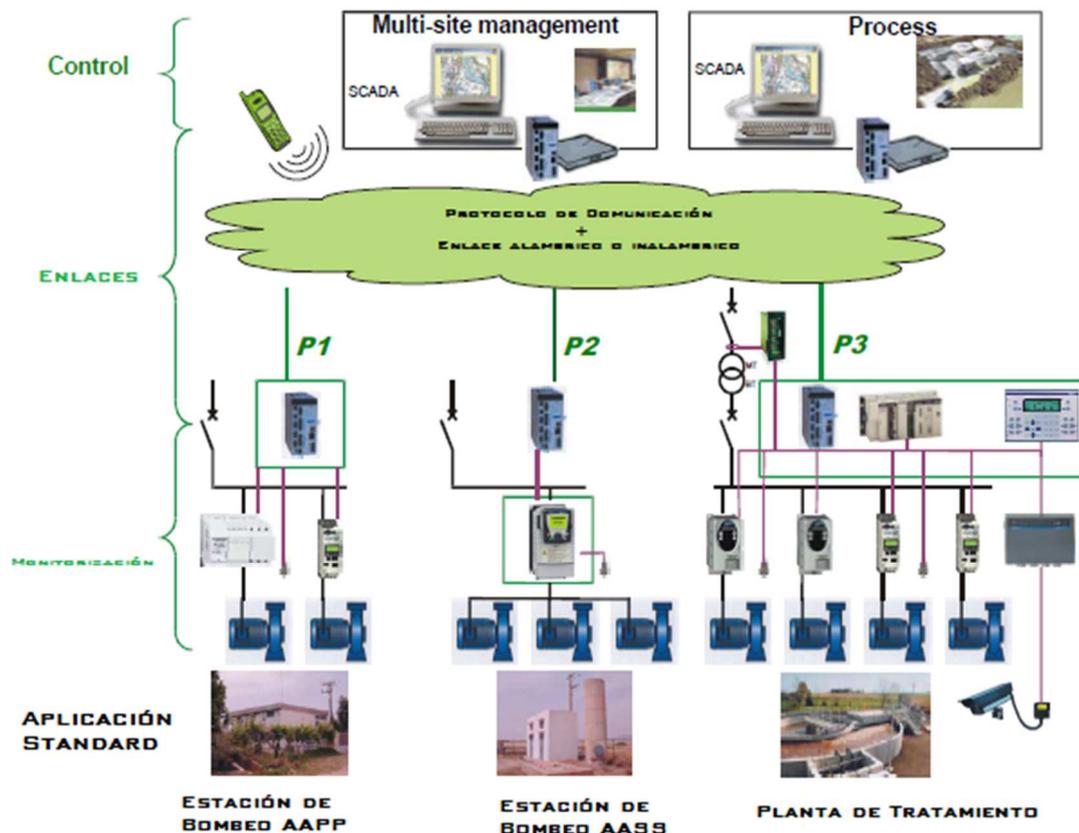


Figura 1. 3: Vista general de una red inalámbrica utilizando SCADA.

Fuente: (Juxeo, 2017)

Elaborado por: Autor

Se debe aclarar además que, un sistema SCADA, permite a las estaciones remotas trabajar de manera autónoma, pudiendo funcionar sin la necesidad de control externo para monitorear su operación. Una vez el SCADA y la red de telemetría este en óptimas condiciones, estos en conjunto, pueden llevar datos históricos de las acciones ejecutadas, realizar análisis de datos y ejecutar alguna tarea especial.

Actualmente existe una red de Radios que cumple la función de enlazar las diferentes estaciones con la Sala de Control, dicha red, basada en Radio Módems con comunicación serial, maneja velocidades de transmisión de hasta 22kbps en el aire, donde cada radio cuenta con hasta 3 puertos seriales de tipo **DTC** (Equipo de Comunicación de Datos) a los cuales se enlazan diversas clases de controladores con puertos seriales del tipo **DTE** (Equipo Terminal de Datos).

Estas radios en específico tienen como ventaja que soportan una gran cantidad de protocolos de comunicación y como desventajas se tienen: bajas velocidades de transmisión y dependiendo de la norma serial utilizada, se obtienen enlaces punto-punto si es bajo norma RS-232 o punto-multipunto si es bajo norma RS-485.

La actual red de radios fue implementada inicialmente sin tener en cuenta estudios de factibilidad de enlaces ni normas técnicas de instalación por lo que se observan problemas de tráfico lento, repetición de paquetes, latencia y pérdida de información entre otros. Un tema no ajeno a esta red es la continua innovación tecnológica, en los últimos años las comunicaciones industriales han mejorado y expandido su capacidad de comunicación, pasando de los simples puertos seriales a puertos Ethernet.

Los cuales ofrecen ventajas innumerables para su uso, siendo los más importantes:

- ✓ Mayores velocidades de operación inclusive sobrepasan los 100 Mbps.
- ✓ Conectividad de una mayor cantidad de equipos en una red.

- ✓ Con el uso de repetidores se puede alcanzar longitudes mayores a 100 metros y si se utiliza convertidores de Ethernet a fibra óptica, se alcanza sin lugar a duda grandes distancias.

1.3. Definición del problema.

Difícil acceso a todos los equipos de manera remota, agravan la situación a la hora de resolver un inconveniente, esto debido a que, con las comunicaciones de tipo serial, únicamente se manejan enlaces tipo punto-punto si se utiliza la norma RS-232, y no se puede lograr acceder a configuraciones y parámetros de todos los dispositivos en una red. Que, en cambio, si se realiza la implementación de la tecnología ethernet, se tendría acceso remoto desde configuraciones hasta programación en modo depuración inclusive de manera remota.

Por lo tanto, surge la necesidad del despliegue de una red híbrida de telemetría basada en comunicaciones Ethernet lo que permitiría conectividad de un espectro más amplio de dispositivos.

1.4. Justificación del problema.

Como ya se conoce, las redes de telecomunicaciones han tenido una evolución exponencial en los últimos años, al punto de ofrecernos soluciones de alta velocidad y elevado ancho de banda, debido al avance tecnológico y mejoras en los diseños de las redes, se ha dado un impulso a las redes telemétricas de última generación.

Las innovaciones tecnológicas han permitido el desarrollo de las comunicaciones con dispositivos inteligentes, al punto de obtener datos de estado, monitoreo y control de dichos dispositivos. Pero, debido a la cantidad de equipos que podrían existir en una misma red, y para obtener el máximo de beneficios, la mayoría de estas redes, son implementadas sobre una base ethernet.

Por lo que, al tener una red serial, no se podrían obtener todas las ventajas, antes expuestas, y otras como: realizar cambios en la

configuración o en el programa instalado en el controlador, debido a que la depuración y configuración, únicamente se ofrece bajo el protocolo Ethernet.

Lo mismo sucede con los demás equipos tales como arrancadores suaves, paneles de operador y variadores de velocidad. Si existiese una falla o evento imprevisto, el personal técnico debe ir a la estación para tratar de solucionarlo mientras que, si se tuviese acceso vía ethernet, se puede realizar una conexión fácil y segura, y tratar de minimizar los tiempos de para. Con eso se obtiene un uso más eficiente de los recursos tecnológicos.

A todo esto, se debe agregar que la red originalmente instalada ha crecido de una manera desordenada, sin observar patrones ni lineamientos básicos de diseño y presenta problemas de pérdida de comunicaciones entre las estaciones remotas y que la red del sistema SCADA a este ritmo está destinada al colapso y representa un riesgo a la operación del sistema

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo general.

Realizar el diseño e implementación de una red híbrida de datos sobre Ethernet para empresas operadoras de sistemas de AAPP y AASS en áreas metropolitana que proporcione a las estaciones telemétricas la capacidad de transmitir con un mayor ancho de banda, y que permita la integración y acceso hasta el último equipo periférico que maneje TCP.

1.5.2. Objetivos específicos.

- ✓ Diseñar la estructura de la red indicando las características de los equipos que se podrían utilizar en la red.
- ✓ Modelar los distintos enlaces para comprobar su funcionalidad.
- ✓ Proponer soluciones reales para mitigar la degradación de la señal en la red de Radios Ethernet.
- ✓ Proponer alternativas para monitorear la correcta funcionalidad de los equipos.
- ✓ Realizar el análisis económico de la propuesta, y su viabilidad.

1.6. Hipótesis.

La implementación de una red de telemetría fundamentada en Radio Módems Ethernet, previo diseño, modelación de propagación y análisis, mejorará la confiabilidad de la data, el acceso a la información y la conexión de un mayor número de periféricos, facilitando la resolución de problemas, la administración de más parámetros de configuración y el monitoreo de cada uno de los equipos.

1.7. Metodología de investigación.

Se define el presente trabajo como una propuesta de intervención técnica, fundamentada en la teoría metodológica, presentando los resultados en base a una investigación científica.

El tipo de investigación se enmarca en proyecto factible, tal como lo describe (Álvarez, 2000) “El desarrollo de una intervención en un área o escenario específico relativo al ámbito de formación, cumpliendo las fases de Planificación, Ejecución y Evaluación”. Lo mismo afirma al decir Hurtado de Barrera & Barrera Morales, (2000) que: “son todas aquellas investigaciones que conducen a inventos, programas, diseños, o a creaciones dirigidas a cubrir una determinada necesidad y basados en conocimientos anteriores”.

Además, se emplea el método analítico, al comparar de forma separada los distintos elementos que conforman la red.

Capítulo 2: Fundamentación Teórico de RF y Telemetría.

2.1. Visión general de Radiofrecuencia.

El Comité de Sistemas de Radiofrecuencia (*Radio Frequency, RF*) dentro del Grupo de Telemetría (*Telemetry Group, TG*) de la Gama de los comandantes del consejo (*Range Commanders Council, CC*) preparó este documento para ayudar en el desarrollo de sistemas mejorados de transmisión y recepción de telemetría de RF en los rangos de miembros de RCC. El TG espera que el mejor diseño, operación y mantenimiento del sistema resulten de una mejor comprensión de los factores que afectan el desempeño de los sistemas de RF y, en consecuencia, la efectividad general del sistema.

Este capítulo no pretende ser un tutorial o libro de texto sobre la teoría del diseño de sistemas de RF. Está destinado a ser un documento descriptivo utilizado para la transmisión de ideas, sugerencias, aprendizaje y otros elementos de importancia en el campo de la telemetría de RF. Este documento está organizado en secciones de acuerdo con el modelo de sistema de RF de telemetría básico que se muestra en la figura 2.1.



Figura 2. 1: Modelo de sistema de radiofrecuencia (RF) de telemetría.
Elaborado por: Autor

2.2. Fundamentos de radiofrecuencia (RF).

Las frecuencias de radio son ondas electromagnéticas que se propagan a través del espacio y son la base de muchos sistemas de comunicación diferentes. Debido a sus características variables, las ondas de radio de diferentes frecuencias se utilizan no solo en radiodifusión sino también en dispositivos inalámbricos, transmisión telefónica, televisión, radar, sistemas de navegación y otros tipos de comunicación, como los sistemas de telemetría.

Según Coleman & Westcott, (2018) una buena analogía para una radio receptora sería el oído humano. También considera que uno de los comportamientos de propagación de RF más importantes a tener en cuenta es la reflexión. Es decir, que cuando una onda golpea un objeto liso que es más grande que la onda misma, dependiendo del medio, la onda puede rebotar en otra dirección.

Las ondas de radio generalmente se identifican por su frecuencia. Las ondas más cortas tienen la frecuencia más alta, o números de ciclos por segundo, mientras que las ondas más largas tienen la frecuencia más baja o la menor cantidad de ciclos por segundo. En honor al pionero de la radio alemana Heinrich Hertz, su nombre se usa para referirse al ciclo por segundo (Hertz, Hz); un kilohertz (kHz) es de 1000 ciclos por segundo (cps), un Megahertz (MHz) es de un millón de cps, y un gigahertz (GHz) es de mil millones de cps.

La energía electromagnética que es útil para fines de comunicación oscila entre aproximadamente 10 kHz y 100 GHz. Según (Artusio-Glimpse et al., 2018) existen varios grupos en todo el mundo que investigan métodos para realizar una medición trazable del SI más directa de la potencia de RF (donde RF se define para que abarque desde 100 s de MHz hasta THz). En el vacío, todas las ondas electromagnéticas viajan a una velocidad uniforme de aproximadamente 300,000 km/s (186,000 mi/s).

Debido a que las ondas electromagnéticas en una atmósfera uniforme viajan en líneas rectas, y debido a que la superficie de la Tierra es esférica, la comunicación por radio de larga distancia es posible gracias al reflejo de las ondas de radio de la ionosfera. Las ondas de radio más cortas de aproximadamente 10 m (aproximadamente 33 pies) de longitud de onda - designadas como: **(a)** muy altas frecuencias (*Very High Frequency, VHF*), **(b)** ultra altas frecuencias (*Ultra High Frequency, UHF*) y **(c)** super altas frecuencias (*Super High Frequency, SHF*). Generalmente no se reflejan en la ionosfera; por lo tanto, en la práctica normal, tales ondas muy cortas se reciben solo dentro de las distancias de la línea de visión.

Las longitudes de onda más cortas que unos pocos centímetros son absorbidas por gotitas de agua o nubes; Aquellos de menos de 1.5 cm (0.6 pulgadas) pueden ser absorbidos selectivamente por el vapor de agua presente en una atmósfera clara. En la atmósfera, las características físicas del aire causan ligeras variaciones en la velocidad, que son fuentes de error en sistemas de radiocomunicaciones tales como el radar. Además, las tormentas o las perturbaciones eléctricas producen fenómenos anómalos en la propagación de las ondas de radio.

Un sistema típico de comunicación por radio tiene dos componentes principales, un transmisor y un receptor. El transmisor genera oscilaciones eléctricas a una frecuencia de radio llamada frecuencia portadora. La amplitud, la frecuencia o la fase de la portadora pueden modularse con la información a transmitir. Una señal modulada en amplitud (*Amplitude Modulation, AM*) consiste en la frecuencia portadora más dos bandas laterales resultantes de la modulación.

La modulación de frecuencia (*Frequency Modulation, FM*) y la modulación de fase (*Phase Modulation, PM*) producen pares de bandas laterales para cada frecuencia de modulación. Estos producen las variaciones complejas que surgen como el habla u otros sonidos en la radiodifusión, las alteraciones de la luz y la oscuridad en la transmisión de televisión y los datos de telemetría en los sistemas de telemetría.

2.3. La estación de telemetría y tierra.

El propósito de un sistema de telemetría es transmitir de manera confiable y transparente la información de medición desde una fuente de generación de datos remotamente ubicada a los usuarios ubicados en el espacio o en la Tierra. Por lo general, los generadores de datos son sensores científicos, sensores de mantenimiento de la ciencia, sensores de ingeniería y otros subsistemas a bordo de una nave espacial o un avión. La aparición de hardware basado en microprocesador capaz dará como resultado sistemas de datos con demandas de mayor rendimiento y un requisito para los aumentos correspondientes en la complejidad de la misión.

Estos hechos, junto con los entornos técnicos y fiscales actuales, crean la necesidad de una mayor capacidad y eficiencia de telemetría con costos reducidos. La palabra "telemetría" se deriva de las raíces griegas: tele = remoto, y metron = medida. Las definiciones estándar de telecomunicaciones de telemetría son:

- a. El uso de las telecomunicaciones para indicar o registrar automáticamente mediciones a distancia de un instrumento de medición;
- b. La transmisión de señales que no son de voz con el fin de indicar o registrar automáticamente mediciones a una distancia de un instrumento de medición.

El proceso mediante el cual los datos se recopilan en una ubicación remota y luego se transportan a un usuario/grabador en una ubicación de estación base, se denomina telemetría. El proceso de medición a menudo tendrá una actividad de control complementaria mediante la cual los comandos se envían al dispositivo de medición. La actividad de comando se realiza de forma remota, por lo que generalmente se denomina telemando. La definición estándar de telemando es el "uso de telecomunicaciones para la transmisión de señales para iniciar, modificar o terminar funciones de equipos a distancia".

2.4. Componentes de un enlace de radio.

Los enlaces de radio son utilizados para medir y monitorear el rendimiento que podría tener una red troncal de enlace de radio. Para asegurar que sea tan rentable y tan fuerte como sea posible, se consideran los requisitos del proveedor del servicio de internet (*Internet Service Provider, ISP*) y se calculan los parámetros de la red que se pueden obtener. (Balmaceda, Aubert, & Arias, 2017). Por ejemplo, Bizagwira, Toussaint, & Misson, (2014) en su investigación utilizan enlaces de radio para evaluar su calidad entre dos nodos sensores que se desplegarán en entornos exteriores. Para lo cual, ellos (Bizagwira et al., 2014) propusieron un banco de pruebas específico utilizando Radio Definida por Software (Software Defined Radio, SDR) basados en el nodo de sensor CC430 para el procesar

la evaluación de la calidad del enlace. Un enlace de radio consta de los siguientes componentes:

- a. Antena: este es el dispositivo utilizado para radiar o detectar las ondas electromagnéticas. Hay muchos diseños diferentes de antenas disponibles, la figura 2.2 muestra una antena con alimentación por bocina. Cada uno irradia la señal (ondas electromagnéticas) de una manera diferente. El tipo de antena utilizada depende de la aplicación y del área de cobertura requerida.

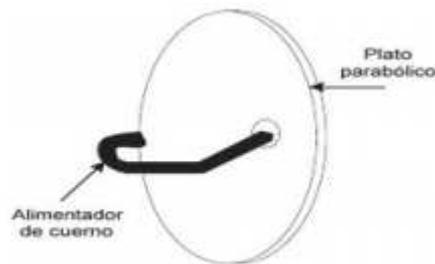


Figura 2. 2: Tipo de antena alimentada por bocina.
Fuente: (Vela R., 2015)

- b. Transmisores: este es el dispositivo que convierte la señal de datos en una señal de frecuencia superior modificada (modulada) y la envía a la antena (véase la figura 2.3), donde se irradia en el espacio libre como una onda electromagnética, a frecuencias de radio.

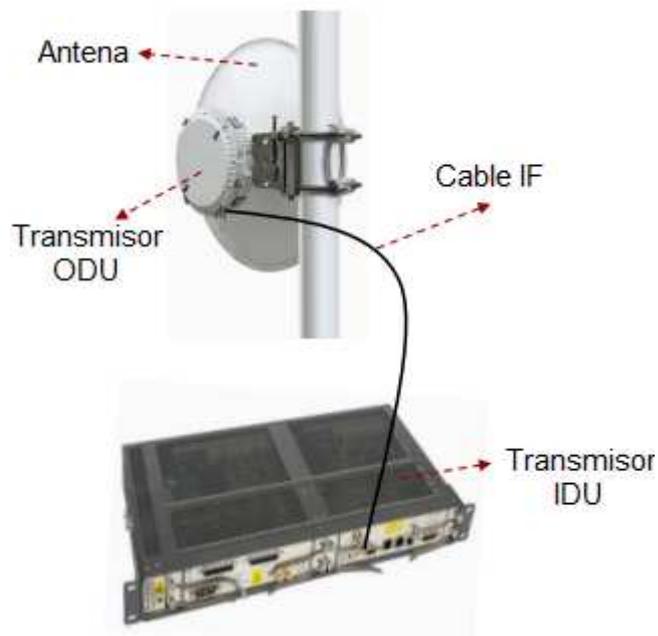


Figura 2. 3: Equipos utilizados para Tx de enlaces de radio de montaje dividido.

Fuente: (Fawad, 2017)

- c. Receptores: este es el dispositivo que convierte las señales de radiofrecuencia (alimentadas desde la antena que detecta las ondas electromagnéticas del espacio libre) en señales de datos. La figura 2.4 muestra el equipo Sielco que sirve como transmisor y receptor.



Figura 2. 4: Equipos Sielco para Rx de enlaces de radio.

Fuente: (Castel, 2013)

- d. Estructuras de soportes de antenas.
- e. Cableado.
- f. Equipos de interfaz: esto permite la conexión de datos a transmisores y receptores desde fuentes externas. También controla el flujo de información, el tiempo de operación en el sistema y el control y la supervisión del transmisor y el receptor.

Los datos se convierten en una señal adecuada para enviar por el transmisor y luego se envían a través del canal. En general, los enlaces se clasifican en:

1. Simplex: un canal que transfiere datos en una sola dirección.
2. Half-Duplex: un canal que puede transferir datos en dos direcciones, pero solo una dirección a la vez.
3. Full Duplex: un canal que puede transferir datos en dos direcciones simultáneamente.

El canal mismo modifica la señal de formas que pueden ser más o menos impredecibles para el receptor, por lo que el receptor debe diseñarse para superar estas modificaciones y, por lo tanto, para entregar la información a su destino final con el menor número posible de errores o distorsiones. En el canal inalámbrico, las fuentes de ruido se pueden subdividir en efectos multiplicativos y aditivos:

- a. el ruido aditivo surge del ruido generado en el propio receptor, como el ruido térmico y de disparo en componentes pasivos y activos y también

de fuentes externas, como los efectos atmosféricos, la radiación cósmica y la interferencia de otros transmisores y aparatos eléctricos. Algunas de estas interferencias pueden ser intencionalmente introducidas, pero deben ser cuidadosamente controladas.

- b. El ruido multiplicativo surge de los diversos procesos encontrados por las ondas transmitidas en su camino desde la antena del transmisor hasta la antena del receptor. Éstos son algunos de ellos:
- características direccionales de las antenas de transmisión y recepción;
 - reflexión (de las superficies lisas de paredes y colinas);
 - absorción (por paredes, árboles y por la atmósfera);
 - dispersión (de superficies ásperas como el mar, el terreno áspero y las hojas y ramas de los árboles);
 - difracción (desde los bordes, como la construcción de techos y colinas);
 - refracción (debido a capas atmosféricas y materiales estratificados o graduados).

2.5. Redes TCP/IP.

TCP/IP es el conjunto de protocolos de redes más importantes del mundo. Es la base para Internet y el "idioma" hablado por la gran mayoría de las computadoras en red del mundo. El protocolo de control de transmisión/protocolo de internet (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP*) incluye un gran conjunto de protocolos que operan en la capa de red y en las capas superiores, tal como se muestra en la figura 2.5. El conjunto de aplicaciones está anclado en la capa 3 por el protocolo de internet (*Internet Protocol, IP*), que muchas personas consideran el protocolo más importante en el mundo de las tareas de red. Por supuesto, hay un poco de distancia arquitectónica entre la capa de red y las aplicaciones que se ejecutan en las capas muy por encima de esa capa.

TCP / IP utiliza el modelo de comunicación cliente / servidor en el que un usuario de la computadora solicita y recibe un servicio de otra

computadora en la red. La comunicación TCP / IP es principalmente de punto a punto, lo que significa que cada comunicación es de un punto en la red a otro punto o computadora host. Se dice colectivamente que TCP / IP y las aplicaciones de alto nivel que lo utilizan son "sin estado" porque cada solicitud del cliente se considera una nueva solicitud no relacionada con ninguna anterior. (Nath & Uddin, 2015)

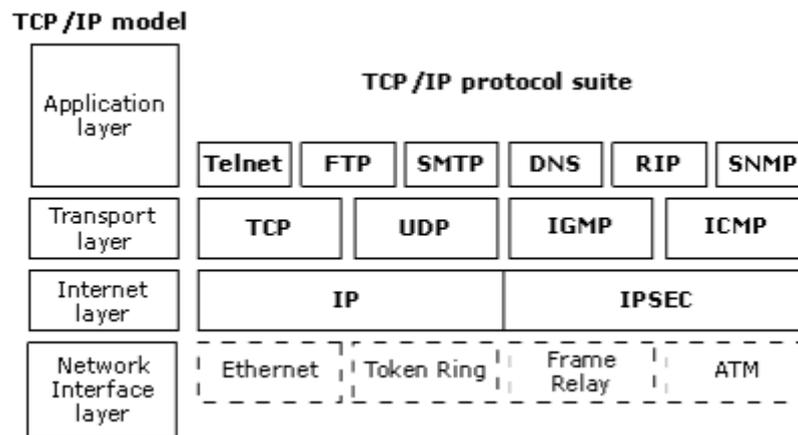


Figura 2. 5: Conjunto de protocolos de control de transmisión/internet (TCP/IP).
Fuente: (Nath & Uddin, 2015)

De acuerdo a Kessler, (2008) los investigadores digitales tienen una necesidad creciente de examinar los registros y el tráfico de la red de datos, ya sea como parte de investigaciones criminales o civiles o cuando responden a incidentes de seguridad de la información. Para comprender realmente el contenido de los registros y los paquetes de datos, los examinadores deben tener una buena base en los protocolos que comprenden TCP/IP.

IP es el protocolo que realiza la mayor parte de las funciones necesarias para hacer que una interred funcione, pero no incluye algunas capacidades que muchas aplicaciones necesitan. En TCP/IP, un par de protocolos que operan en la capa de transporte realiza estas tareas, estos protocolos son: el TCP y el Protocolo de Datagrama de Usuario (*User Datagram Protocol, UDP*). (Stallings, 2014)

Para Nakanishi, Hatayama, Onoduka, & Kimura, (2015) en los últimos años, la comunicación TCP/IP se usa en muchos sistemas integrados o

embebidos como los dispositivos de matrices de puertas programables (*Field-Programmable Gate Array, FPGA*). En las FPGAs la comunicación TCP/IP genera paquetes y paquetes descompuestos del estándar TCP/IP, para lo cual este proceso se denomina encapsulado y no encapsulado. En general, el proceso convencional lo realiza el controlador en el sistema operativo utilizando la CPU.

2.5.1. Protocolo de control de transmisión (TCP).

El modelo estándar para comprender y diseñar una arquitectura de red es el conocido modelo de interconexión de sistemas abierto (*Open Systems Interconnection, OSI*), que consta de 7 capas. Sin embargo, el protocolo TCP/IP se centra principalmente en las cuatro capas inferiores del modelo OSI. Es decir, que TCP/IP es un modelo híbrido derivado del modelo OSI en el cual se combina las tres capas superiores del modelo OSI con una sola capa de aplicación. En consecuencia, el modelo TCP/IP contiene cinco capas: capa física, capa de enlace de datos, capa de red, capa de transporte y capa de aplicación. El modelo TCP/IP se representa y se compara con el modelo OSI tal como se muestra en la figura 2.6. (Bizagwira et al., 2014)

OSI Model	TCP/IP Model
Application	Application
Presentation	
Session	
Transport	Transport
Network	Network
Data link	Data link
Physical	Physical

Figura 2. 6: Modelo OSI y TCP/IP.
Fuente: (Lu, 2003)

En el modelo TCP/IP, cada capa se comunica con sus capas vecinas a través de interfaces estandarizadas y al mismo tiempo proporciona servicios a sus capas vecinas. La figura 2.7 ilustra los protocolos específicos que se ejecutan en cada una de estas capas y sus relaciones. (Lu, 2003)

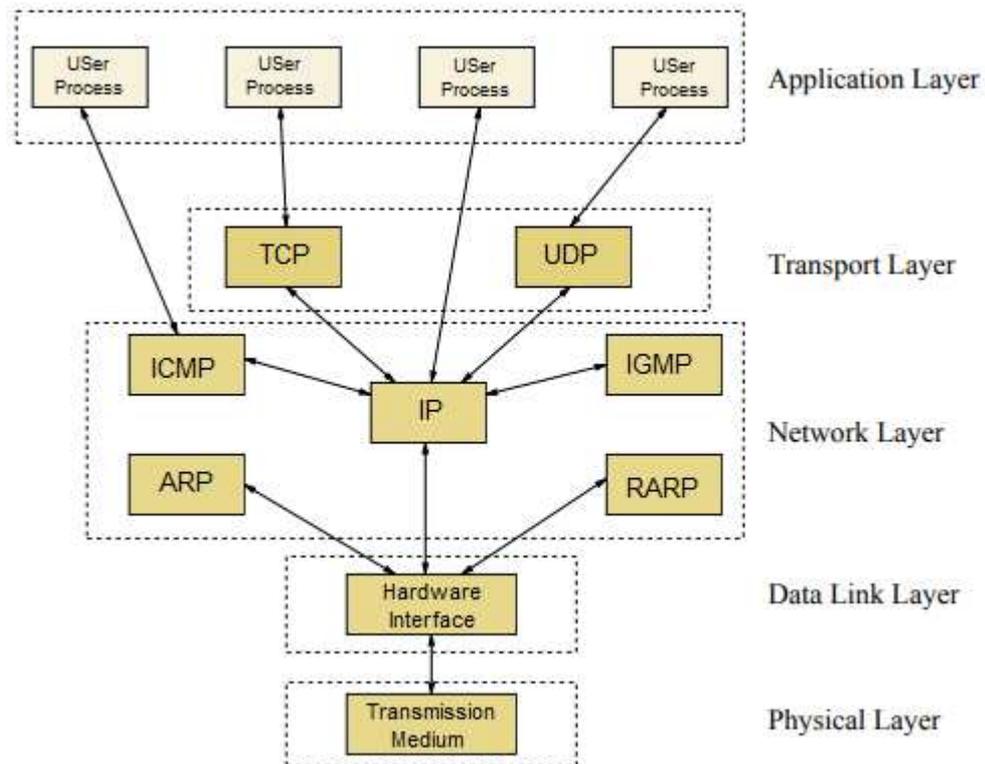


Figura 2. 7: Modelo OSI y TCP/IP.
Fuente: (Lu, 2003)

Cada capa representada en la figura 2.7 se describe brevemente a continuación:

- 1) Capa física: proporciona funciones para transmitir flujos de bits a través del medio de transmisión. Define los estándares mecánicos y eléctricos de la interfaz entre los dispositivos y el medio de transmisión. El medio de transmisión podría ser el cable de par trenzado, el cable coaxial y el cable de fibra óptica, etc. La capa física también trata con atributos tales como velocidad de datos, modo de transmisión, sincronización de bits y otros caracteres relacionados con la transmisión.

- 2) Capa de enlace de datos: transforma la capa física, una facilidad de transmisión en bruto, en un enlace confiable. Hace que la capa física aparezca libre de errores en la capa superior (capa de red). Realiza esta tarea al dividir las secuencias de bits en tramas de datos, además de agregar cierta información de control a las tramas y proteger las mismas mediante una cierta técnica de detección de errores. La capa

física solo se encarga de la transmisión de las secuencias de bits y solo en la capa de enlace de datos, donde las tramas podrían ser reconocidos.

3) Capa de red: es la responsable de la entrega de un paquete desde el host de origen al host de destino en una o varias redes. La capa de red admite los siguientes protocolos:

- Protocolo de internet (IP), es un protocolo no confiable y sin conexión, que no proporciona verificación de errores durante la transmisión y hace todo lo posible para transmitir los datos a su destino, pero sin garantía. Se debe emparejar con TCP para realizar transmisiones confiables.
- Protocolo de mensajes de control de Internet (*Internet Control Message Protocol, ICMP*), es utilizado por el protocolo IP para intercambiar mensajes de error y otra información vital con sus capas de red pares en los otros hosts. Los mensajes ICMP primero se encapsulan en paquetes IP antes de enviarlos a capas más bajas. (Kim, Kwon, & Ju, 2014; Wei-hua, Wei-hua, & Jun, 2003)
- Protocolo de administración de grupos de internet (*Internet Group Management Protocol, IGMP*), generalmente se utiliza con multicast (multidifusión) para enviar un datagrama UDP a múltiples hosts. Es un acompañante del protocolo IP. IGMP es un protocolo de multidifusión que se utiliza para consultar e informar sobre los intereses de la pertenencia a un grupo en una red local. (Chen & William Atwood, 2018)
- Protocolo de resolución de direcciones (*Address Resolution Protocol, ARP*) y protocolo de resolución de direcciones inversa (*Reverse Address Resolution Protocol, RARP*) se utilizan para convertir las direcciones IP utilizadas por la capa de red y las direcciones Ethernet utilizadas por la capa de enlace de datos. (Rhee, 2013)

4) Capa de transporte: como se observa en la figura 2.7, TCP y UDP son dos protocolos predominantes que se ejecutan en la capa de transporte.

- TCP ofrece servicios confiables de transmisión de datos basados en conexión mediante el uso de confirmaciones de datos y retransmisiones.
- UDP es un protocolo sin conexión y poco confiable. UDP no proporciona servicios de recuperación de errores al enviar y recibir paquetes.

5) Capa de aplicación: trata con procesos de usuario particulares. Múltiples procesos podrían ejecutarse al mismo tiempo teniendo en cuenta las características de las computadoras modernas con múltiples procesos. Existen numerosos protocolos de aplicación que se ejecutan en la capa de la aplicación, como FTP, HTTP, SMTP, etc.

TCP es un protocolo de transporte fiable, orientado a la conexión, con funciones para aplicaciones TCP/IP. Este proporciona direccionamiento de la capa de transporte que permite que múltiples aplicaciones de software utilicen simultáneamente una dirección IP, y permite que un par de dispositivos establezcan una conexión virtual y luego transmita datos bidireccionalmente.

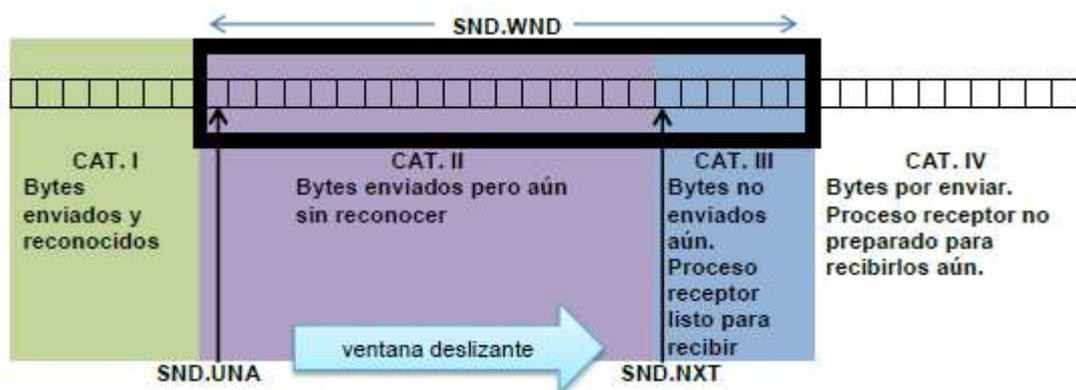


Figura 2. 8: Descripción gráfica del sistema especial de ventana deslizante.

Fuente: (Martínez Álvarez, 2016)

Las transmisiones se administran utilizando un sistema especial de ventana deslizante, con transmisiones no reconocidas detectadas y

retransmitidas automáticamente, tal como se muestra en la figura 2.8. La funcionalidad adicional permite administrar el flujo de datos entre los dispositivos y las circunstancias especiales que deben abordarse.

2.5.2. Direccionamiento.

El direccionamiento es un tema clave en el trabajo en red. Las direcciones se pueden considerar como identificaciones, y diferentes direcciones identifican cosas diferentes. Hay tres tipos diferentes de direcciones en el conjunto de protocolos TCP/IP: Ethernet, IP y puerto. La capa de enlace de datos utiliza la dirección Ethernet para determinar un host único dentro de una red. La capa de red emplea la dirección IP para identificar un host único en Internet. Y el número de puerto es adoptado por la capa de transporte para reconocer un determinado proceso de usuario que se ejecuta en un host multiproceso. Los cuales se discuten en detalle de la siguiente manera: (Lu, 2003)

a. Dirección Ethernet (o Dirección MAC),

La dirección Ethernet, que tiene 48 bits, es la dirección de nivel más bajo y funciona en la capa de enlace de datos. La dirección Ethernet está impresa por el fabricante en la tarjeta de interfaz de red (NIC) cuando se produce la NIC. Cada NIC tiene una dirección Ethernet única. Una computadora debe estar equipada con al menos una NIC para conectarse a la red, por lo tanto, una computadora tendrá al menos una dirección Ethernet. Cada dirección de Ethernet identifica una interfaz de red entre la computadora y la red a la que está conectada la computadora.

b. Dirección IP (o Dirección de red) y

La dirección IP se introduce en la capa de red, es una dirección de 32 bits que puede identificar de forma única un host conectado a Internet. Solo los paquetes con las direcciones IP de origen y destino precisas se pueden reenviar correctamente a sus hosts de destino y establecer las comunicaciones. Las direcciones IP constan de dos partes: netID e hostID. NetID identifica una red y hostID define un host en esa red. Por lo tanto, cuando un paquete se envía a Internet, los dispositivos de interconexión encontrarán su red de destino de acuerdo con la NetID de su dirección IP de

destino, y luego reenviarán el paquete a esa red. Cuando el paquete llega a la red de destino, la red asignará su host de destino final de acuerdo con el hostID de la dirección de destino.

La dirección IP se divide en cinco clases: A, B, C, D y E, los primeros bits de la dirección IP determinan la clase de la dirección, tal como se muestra en la figura 2.9, la clase diferente tiene una longitud diferente de netID. Los números binarios al comienzo del campo netID definen las clases de dirección. La tabla 2.1 muestra los tres bloques de direcciones para redes privadas, donde cualquier organización puede usar estas direcciones para sus redes internas privadas. Los enrutadores no pueden reconocer los paquetes con direcciones privadas y, por lo tanto, los eliminarán en Internet. A diferencia de la dirección privada, llamada dirección IP, que generalmente puede ser reconocida y reenviada por los enrutadores, la dirección pública.

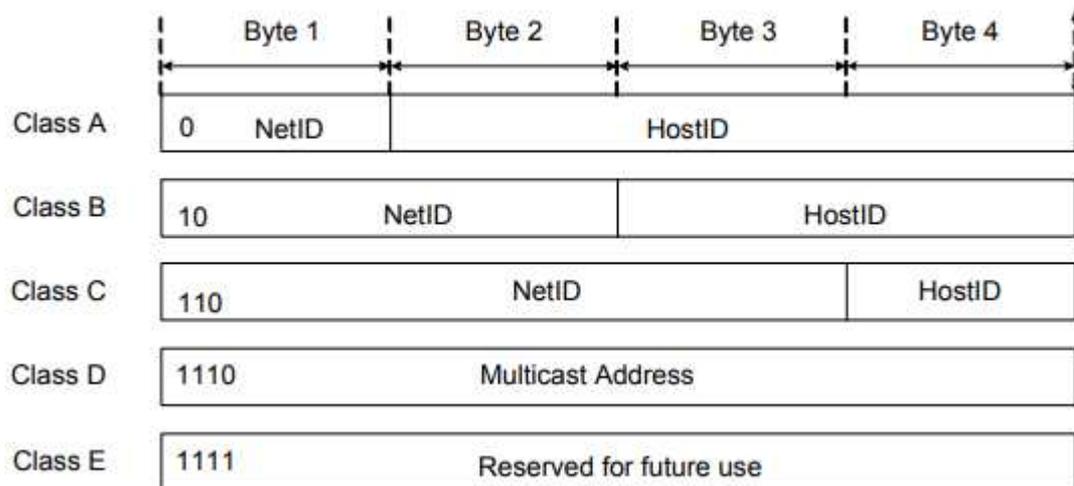


Figura 2. 9: Clases de direcciones IP.
Fuente: (Forouzan & Chung Fegan, 2010)

Tabla 2. 1: Direcciones para redes privadas.

Clases	NetIDs	Número de redes
A	10.0.0	1
B	172.16 a 172.31	16
C	192.168.0 a 192.168.255	256

Fuente: (Forouzan & Chung Fegan, 2010)

c. Número de puerto (o Dirección de puerto).

El número de puerto se define en la capa de transporte. En la capa de red, la dirección IP define de manera única un host en Internet y es responsable de entregar paquetes a nivel de host, es decir, comunicación de host a host. Sin embargo, eso no es suficiente para completar la comunicación entre las computadoras multiproceso de hoy en día. El número de puerto en la capa de transporte se introduce para identificar los procesos que se ejecutan en la capa de aplicación de las computadoras multiproceso. El número de puerto es de 16 bits de largo y varía de 65535 a 0. Hay algunos números de puerto conocidos para procesos de aplicación específicos, por ejemplo, 23 para TELNET, 80 para HTTP y 21, 23 para FTP, etc.

2.5.3. Flujo de datos interactivo en TCP.

El flujo de datos interactivo generalmente se genera mediante aplicaciones basadas en el tipeo del usuario, como Telnet, Rlogin o la conexión de control del protocolo de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol, FTP*). Cuando un usuario escribe un comando interactivo, normalmente genera una secuencia de paquetes de datos, donde cada paquete lleva una pulsación de tecla. Las pulsaciones de teclas se envían del cliente al servidor una por una. Hay dos algoritmos que tienen un efecto importante en la funcionalidad TCP al manejar este tipo de flujos.

2.6. Configuraciones del sistema de telemetría.

Los sistemas de transmisión de telemetría pueden ser simples o muy complejos según las necesidades de los ingenieros y analistas que utilizan los datos. Las figuras 2.10 a 2.15 muestran varias configuraciones de sistemas de telemetría de RF generalmente utilizados en aplicaciones militares. Se proporciona una breve discusión de estas configuraciones para ayudar a identificar las áreas de preocupación que un ingeniero de sistemas de telemetría de RF debe conocer al tomar decisiones de diseño. La configuración del sistema se determinará en última instancia por cualquier número de factores, incluido el número de flujos de datos de telemetría independientes que se transmitirán, las características de vuelo del vehículo

de prueba, el espacio disponible para el montaje de transmisores y antenas y la ubicación de la estación de tierra que reciben los datos.

2.6.1. Transmisor individual – antena individual.

Este tipo de configuración (véase la figura 2.10) representa la forma más simple de un sistema de transmisión de telemetría de RF. En esta configuración, un solo transmisor de telemetría, que opera en una frecuencia de portadora asignada específica, se conecta a una sola antena de telemetría utilizando alguna forma de línea de transmisión. Para garantizar que las pérdidas de potencia de transmisión se reduzcan al mínimo, se debe considerar cuidadosamente la selección de cables y conectores coaxiales de alta calidad, así como la ubicación del transmisor con respecto a la antena. Cada decibelio (dB) de pérdida de potencia de transmisión afecta directamente la calidad de los datos recibidos. La ubicación de las antenas es importante ya que la proximidad a otros sistemas provocaría interferencia desde o hacia otros sistemas de comunicación a bordo del vehículo de prueba.

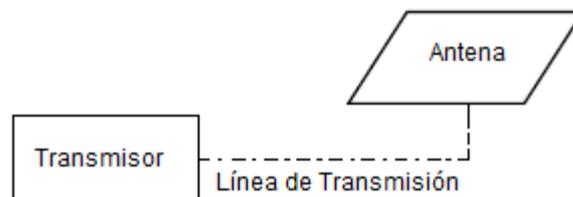


Figura 2. 10: Configuración de transmisor y antena individuales.
Elaborado por: Autor.

Por ejemplo, la interferencia del receptor del sistema de posicionamiento global (*Global Position System, GPS*) de los transmisores de banda L (1435-1525 MHz) es muy posible ya que su frecuencia de operación es cercana al sistema de telemetría. Las antenas de telemetría deben ubicarse lo más lejos posible de otras antenas, especialmente las utilizadas para recibir señales en frecuencias cercanas a las bandas de telemetría.

2.6.2. Múltiples transmisores – antenas independientes.

Cuando existe la necesidad de transmitir múltiples flujos de datos de telemetría, se puede emplear una configuración de este tipo (véase la figura 2.11). Cada transmisor requiere una asignación de frecuencia de telemetría adicional, y finalmente esta configuración utiliza antenas separadas. Cuando existe la necesidad de transmitir múltiples flujos de datos de telemetría, se puede emplear una configuración de este tipo (ver figura 2.11). Cada transmisor requiere una asignación de frecuencia de telemetría adicional. Esta configuración utiliza antenas separadas.

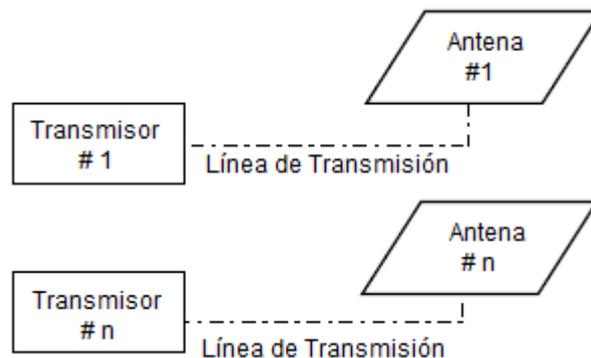


Figura 2. 11: Configuración de múltiples transmisores y antenas independientes.
Elaborado por: Autor.

2.6.3. Transmisor individual – múltiples antenas.

Esta configuración (véase la figura 2.12) se encuentra comúnmente en aeronaves cuando se requiere una sola transmisión de datos de telemetría. Las antenas de los aviones tienden a la direccionalidad, y es más probable que las superficies de los aviones causen cierto bloqueo de la señal durante las maniobras. Típicamente, una antena está montada en la parte superior de la aeronave, y una está montada en la parte inferior. La división de potencia entre antenas suele ser del 10 al 20 % superior y del 80 al 90 % inferior para reflejar el hecho de que las estaciones receptoras de telemetría basadas en tierra generalmente miran hacia la parte inferior del avión. La antena superior entra en juego cuando la aeronave está rodando o girando, haciendo que la antena inferior quede bloqueada por el fuselaje o las alas de la aeronave.

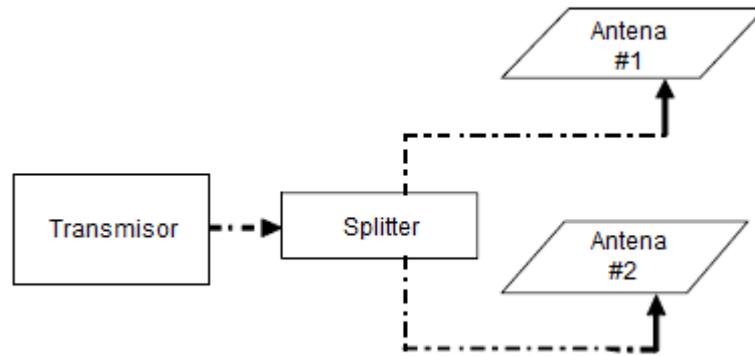


Figura 2. 12: Configuración de transmisor individual y múltiples antenas.
Elaborado por: Autor.

Las estaciones terrestres pueden "ver" ambas antenas al mismo tiempo. Por esta razón, se deben evitar divisiones de 50/50 a fin de disminuir la probabilidad de tener una cancelación de señal causada por ambas señales que combinan 180° de desfase en la estación terrena. Para garantizar que se logra la división de potencia correcta, el diseñador debe medir la potencia real en las entradas de la antena para tener en cuenta las cantidades variables de pérdida de cable a las antenas. Puede ser necesario ajustar la longitud del cable para garantizar que se logra la división de potencia correcta; sin embargo, la diferencia en las longitudes de los cables debe mantenerse en una pequeña fracción del período de bits como sea posible para mantener la fase apropiada de la señal transmitida.

2.6.4. Múltiples transmisores – antena individual.

Una configuración que es más eficiente en términos de utilizar menos antenas puede ser una en la que un combinador de RF permita que múltiples transmisores conduzcan una antena. Esta configuración que se muestra en la figura 2.13 es aplicable cuando se requiere más de un transmisor y solo se requiere (o se permite) una antena de telemetría. Los problemas que podrían resultar de esta configuración son la posible generación de productos de mezcla y/o la transmisión de señales espurias.

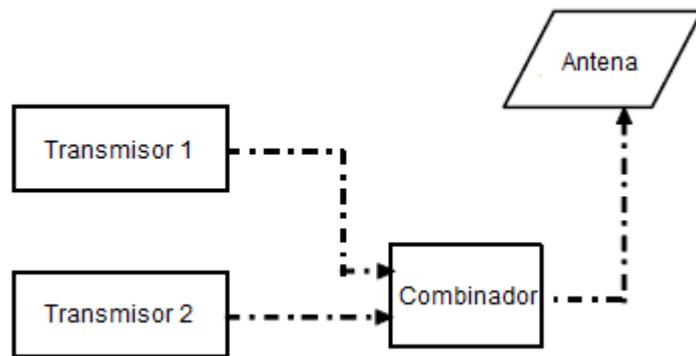


Figura 2. 13: Configuración de múltiples transmisores y antena individual.
Elaborado por: Autor.

Si los transmisores se mezclan entre sí, debido a que la RF de un transmisor entra en la etapa del amplificador de salida del otro transmisor, se producirán transmisiones espurias. Esto puede evitarse mediante la adición de aisladores entre las salidas de los transmisores y el combinador. Hay una pérdida de 3 dB a través del combinador para cada señal del transmisor, y el combinador necesita poder disipar el calor asociado con esta pérdida. Se puede usar duplexores de RF (en lugar del combinador) para combinar señales múltiples sin tener pérdidas de 3 dB, siempre que las frecuencias del transmisor sean conocidas y fijas, y tener una separación de frecuencias suficiente para permitir el filtrado adecuado.

2.6.5. Múltiples transmisores – múltiples antenas.

Esta configuración (véase la figura 2.14) es común en los rangos actuales. Algunos vehículos de prueba tienen de dos a tres transmisores de telemetría y generalmente de una a dos antenas. Este es un híbrido de los otros sistemas descritos anteriormente y se aplican las mismas precauciones. Si solo se requieren dos transmisores, el combinador y el divisor pueden reemplazarse por un solo anillo híbrido de cuatro puertos o un híbrido de 90°.

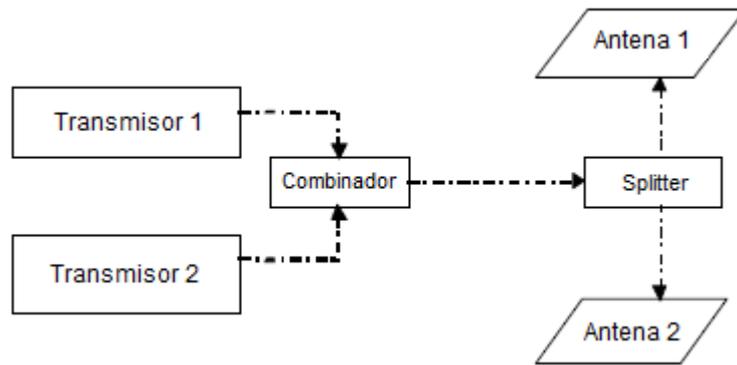


Figura 2. 14: Configuración de múltiples transmisores y múltiples antenas.
Elaborado por: Autor.

2.6.6. Sistemas complejos de transmisión de telemetría.

Esta configuración (véase la figura 2.15) ilustra cómo los sistemas de transmisión de telemetría pueden volverse bastante complejos para adaptarse a las necesidades de algunos programas de prueba. Es un compuesto de los otros sistemas con la adición de varios otros componentes de propósito especial. En esta ilustración, los acopladores direccionales se utilizan para derivar una señal de bajo nivel que podría usarse para controlar el rendimiento del transmisor en un analizador de espectro durante las pruebas en tierra.

Los combinadores y divisores se utilizan para enviar las salidas de múltiples transmisores a antenas superiores e inferiores, mientras que otro transmisor está conectado a las antenas superiores e inferiores propias. Esto se puede utilizar para una o más bandas de frecuencia autorizadas. Los interruptores coaxiales se utilizan para enviar salidas del transmisor a cargas ficticias para fines de prueba. La figura 2.15 es simplemente una ilustración de las muchas posibilidades para configuraciones complejas.

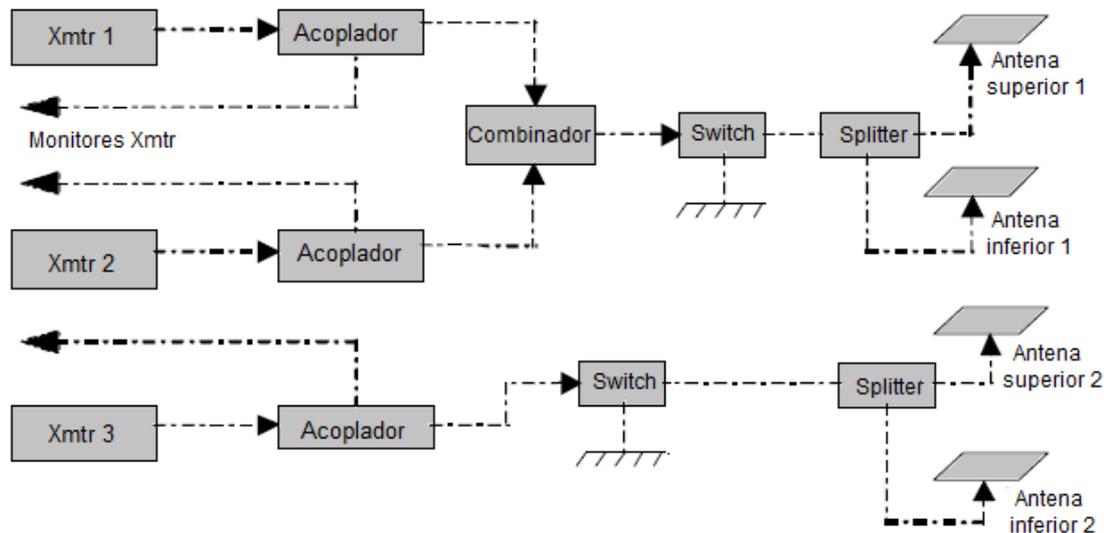


Figura 2. 15: Configuración del sistema complejo de transmisión de telemetría.
Elaborado por: Autor.

2.7. El medio inalámbrico.

La comunicación a través de una red se transmite a través de un medio de transmisión. El medio proporciona el canal sobre el que viaja el mensaje desde el origen hasta el destino. Las redes modernas usan principalmente dos categorías de medio: (Çayirci & Rong, 2009)

- Medio guiado (cable de cobre, enlace de fibra óptica, etc.)
- Medio inalámbrico (aire libre, mar, etc.)

Obviamente, es más difícil comunicarse utilizando un medio inalámbrico en comparación con un medio guiado cerrado. Los medios inalámbricos están abiertos para todos, por lo que la posibilidad de interferencia que afecte la calidad de la señal es alta.

2.7.1. Capacidad.

La capacidad es la velocidad a la que la información puede transmitirse a través de un canal de comunicaciones y es un factor del entorno de ruido, el ancho de banda de frecuencia y el esquema de modulación. Si se asume que el canal no tiene ruido, entonces la capacidad del canal se limita al ancho de banda B , que es el rango de frecuencias presente en la señal. La capacidad de un canal libre de ruido puede establecerse como:

$$C = 2B \log_2 M \quad (1)$$

donde C es la capacidad en bits por segundo (bps), B es el ancho de banda de frecuencia en hercios (Hz) y M es el número de valores que puede transportar cada señal. La ecuación (1) se denomina formulación de Nyquist (Çayirci & Rong, 2009) y proporciona el límite superior de capacidad para el ancho de banda disponible. La ecuación (1) está idealizada porque no considera las influencias ambientales, como por ejemplo el ruido. Cuando el canal no está libre de ruido, el ruido introduce una distorsión adicional en las señales y, por lo tanto, reduce la capacidad. Shannon y Hartley desarrollaron una ecuación similar para la capacidad:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2)$$

donde S es la intensidad de la señal recibida y N es el nivel de ruido. Por lo tanto, S/N se conoce como la relación de señal a ruido (*Signal-Noise Ratio, SNR*). En consecuencia, la ecuación (2) se conoce como el teorema de Shannon-Hartley.

2.7.2. Pérdida en la trayectoria.

La diferencia en la intensidad de la señal en el transmisor (P_{Tx}) y el receptor (P_{Rx}) se ve afectada por la distancia, las ganancias de antena, las pérdidas en los circuitos eléctricos y otros factores aleatorios. Esta diferencia se puede modelar como:

$$\frac{P_{Tx}}{P_{Rx}} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^\gamma = \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^\gamma \quad (3)$$

donde λ es la longitud de onda (que es la relación entre la frecuencia, f, y la velocidad de luz, c), d es la distancia entre el transmisor y el receptor y γ es el exponente de la pérdida de trayectoria (*Path Loss Exponent, PLE*). El PLE suele ser ~2 para espacio libre y ~4 en entornos densos. En áreas densamente obstruidas puede ser mayor que 4 y también puede ser menor que 2 si el entorno forma una guía de ondas o si se usan técnicas especiales de recepción.

$$R_B = \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (4)$$

Decibel es una décima parte de un bel, por lo tanto,

$$1B = 10 \text{ dB} \quad (5)$$

por lo tanto,

$$R_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (6)$$

En función de la relación entre los niveles de potencia de la señal transmitida y recibida, la pérdida de trayecto puede expresarse en decibeles como:

$$L_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_{Tx}}{P_{Rx}} \right) = 10\gamma \log \left(\frac{4\pi fd}{c} \right) \quad (7)$$

Para espacio libre donde el exponente de pérdida de ruta $\gamma = 4$, la ecuación (7) se puede simplificar aún más como:

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 4 \times 10 \log \left(\frac{4\pi fd}{c} \right) \\ L_{dB} &= 4 \times 10 [\log(4\pi fd) - \log(c)] \\ L_{dB} &= 4 \times 10 [\log(4\pi) + \log(f) + \log(d) - \log(c)] \\ L_{dB} &= 40 \log(f) + 40 \log(d) + 40 \log(4\pi) - 40 \log(3 \times 10^8) \\ L_{dB} &= 40 \log(f) + 40 \log(d) - 295.12 \text{ dB} \end{aligned} \quad (8)$$

Como se muestra en la ecuación (8), la pérdida en la potencia de la señal depende de la distancia y la frecuencia. Las señales con frecuencias más altas se atenúan más rápido y son más fácilmente absorbidas por el agua y el vapor de agua que las frecuencias más bajas. Una señal de 5 GHz es más sensible a la lluvia, el granizo y la niebla en comparación con una señal de 1 GHz. Esto significa que las señales de mayor frecuencia necesitan una mayor potencia de transmisión para cubrir el mismo rango que las señales de frecuencia más baja. También implica que las señales desaparecen poco después del receptor previsto.

2.7.3. Degradaciones de transmisión.

Además de la atenuación, existen otros factores que afectan negativamente la calidad de la señal. Estas deficiencias se pueden dividir en tres categorías; ruido, distorsiones y desvanecimiento Doppler.

a. Ruido

Las señales no deseadas interfieren con las señales deseadas, y estas señales no deseadas se llaman ruido. Hay varios tipos de ruido:

- ❖ **Ruido blanco:** Esto es causado por la agitación térmica de los electrones y no se puede eliminar (de lo contrario, no habría un límite superior en la capacidad de acuerdo con la ecuación 2). La razón por la que se llama ruido blanco es que es independiente de la frecuencia. Otro nombre de este fenómeno es el ruido térmico debido a su dependencia de la temperatura. El ruido térmico se puede expresar como:

$$N = kTW \quad (9)$$

donde N es el ruido térmico, k es la constante de Boltzmann ($1.3803 \times 10^{-23} \text{J/}^\circ\text{K}$) y T es la temperatura en Kelvin.

- ❖ **Ruido de intermodulación:** cuando se combinan señales con diferentes frecuencias, pueden producirse nuevas señales con otras frecuencias. Por ejemplo, dos señales con frecuencia f_1 y f_2 pueden producir una señal con la frecuencia $f_1 + f_2$, $f_1 - f_2$ o $n \cdot f_i$. Este efecto puede provocar interferencias con el operador y, por lo tanto, se clasifica como ruido.
- ❖ **Diafonía:** acoplamiento no deseado de canales de transmisión que hace que múltiples señales interfieran entre sí porque son recibidas por la misma antena.
- ❖ **Ruido impulsivo:** pulsos irregulares y ruido producido por interferencia electromagnética o fallas en el sistema de comunicación. Este tipo de ruido puede reconocerse por altas amplitudes y corta duración. El ruido impulsivo es la razón principal de los errores de bit en la comunicación digital.

b. Entorno físico

Los árboles, edificios, postes, etc. pueden causar la degradación de la calidad de la señal debido al comportamiento de las ondas electromagnéticas. La reflexión, la difracción, la dispersión, la refracción y la absorción (véase la figura 2.16) son efectos relacionados con el entorno físico y se describirán a continuación:

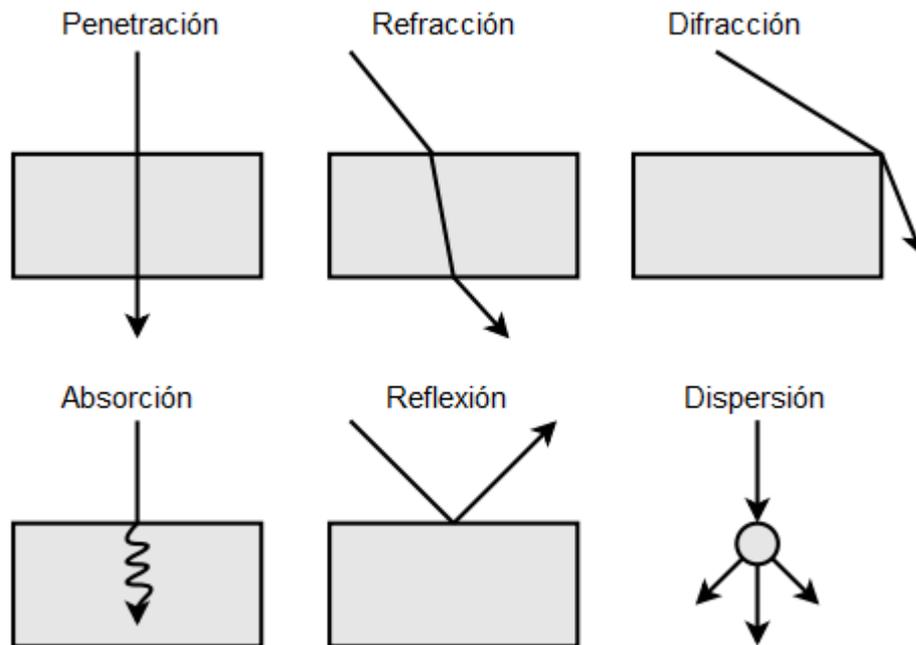


Figura 2. 16: Efectos causados por el entorno físico.
Elaborado por: Autor.

- ❖ **Reflexión:** si una onda electromagnética golpea una superficie blanda, parte de la energía se absorberá y otra se reflejará. El efecto es más fuerte si la superficie es grande en relación con la longitud de onda de las señales.
- ❖ **Difracción:** si una onda electromagnética golpea un borde filoso, la dirección de la onda se doblará hacia el borde.
- ❖ **Dispersión:** si una onda electromagnética golpea objetos como postes, árboles, etc., la ola se puede dividir en varias copias dispersas por el área.
- ❖ **Refracción:** si una onda electromagnética viaja de un medio de transmisión a otro, la dirección de la onda puede cambiar.

- ❖ **Absorción:** cuando una onda electromagnética pasa a través de un medio, la energía de la onda puede atenuarse.

Estos fenómenos subyacen a otro deterioro importante de la transmisión llamado desvanecimiento por trayectos múltiples. Además de la señal original, puede haber copias reflejadas, dispersadas y/o difractadas que lleguen al receptor deseado. Estas copias viajan más allá de la señal original y la interferencia causada por estas copias da como resultado una calidad de señal reducida en el extremo receptor.

c. Desvanecimiento Doppler

Si el transmisor y el receptor se mueven relativamente entre sí mientras se comunican, la frecuencia de las señales transmitidas cambiará debido al cambio en la distancia. Si se mueven uno hacia el otro, la frecuencia aumentará, y si se alejan el uno del otro, la frecuencia disminuirá, esto se conoce como el desvanecimiento Doppler. La velocidad con la que cambia la distancia determina cuánto cambia la frecuencia. El desvanecimiento Doppler puede hacer que el receptor muestree las señales en frecuencias incorrectas, lo que significa que el receptor puede no ser capaz de recuperar la información que se envió.

Las degradaciones pueden hacer que la SNR sea inferior al nivel requerido para que el receptor no pueda interpretar la información. Un ataque bien conocido llamado jamming se basa en esta teoría. La interferencia se obtiene al transmitir ruido intencional en el rango de frecuencia que uno desea atacar.

CAPÍTULO 3: Diseño del sistema de telemetría

3.1. Diseño de la red.

Para diseñar redes de comunicaciones de datos es necesario establecer la distribución física de la red, para lo cual un correcto diseño de red es primordial para evadir dificultades futuras en la pérdida de datos, caídas continuas en los enlaces, problemas de lentitud en el transporte y procesamiento de la información, así como también, obviar inconvenientes de seguridades y despliegue futuro de la red. La primera parte del diseño de la red consistirá en realizar un análisis de la capacidad a implementar, luego se procederá a realizar un análisis de cobertura y concluirá con un análisis de costo. En la figura 3.1 se muestra la base del modelo de red.

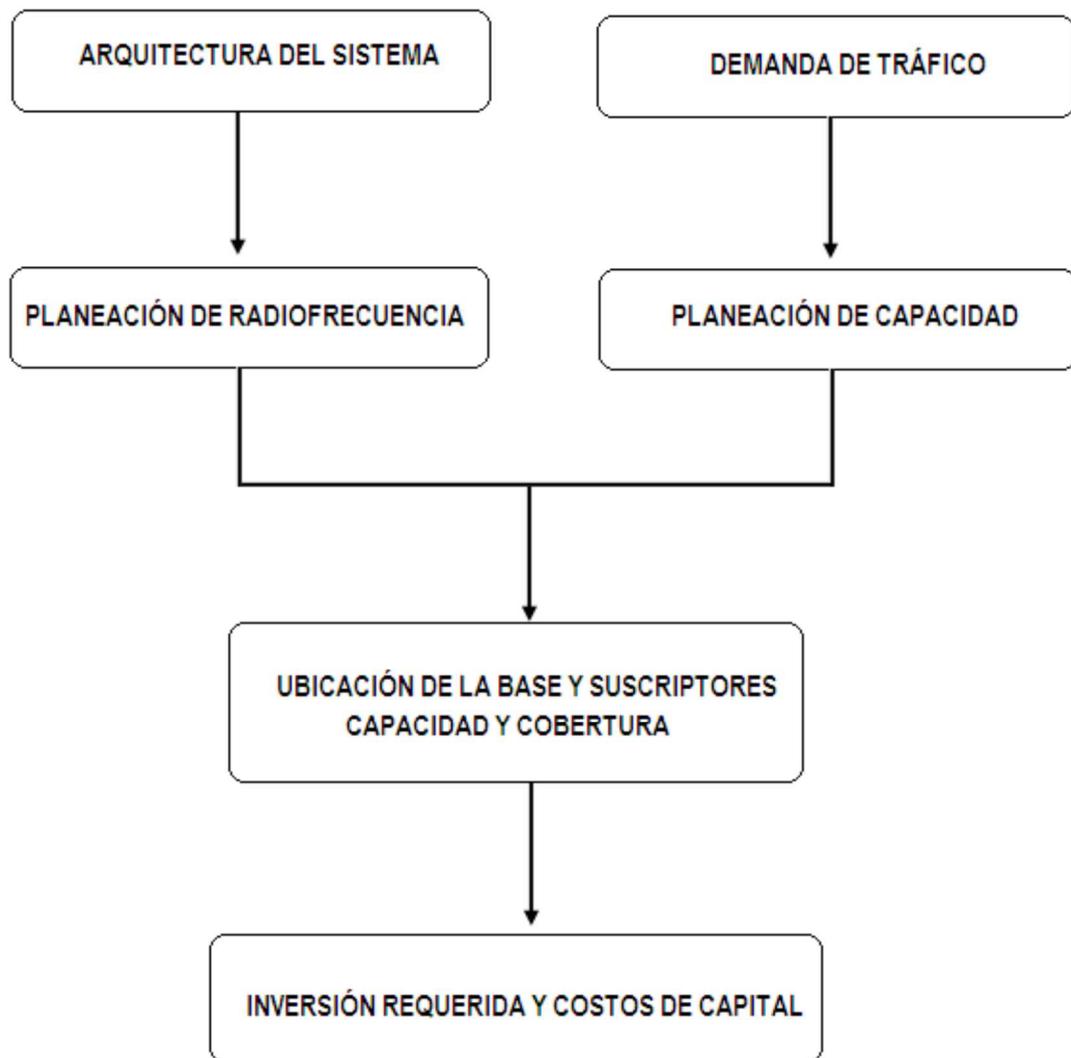


Figura 3. 1: Modelo del diseño de una red de datos.
Elaborado por: Autor

3.2. Arquitectura del sistema.

La arquitectura de esta red que, por ser extendida, depende mucho del relieve del terreno. La ciudad de Guayaquil lugar donde será implementada la red, es en su mayor parte llana, posee elevaciones en la zona noroccidental y más hacia el oeste se encuentra Cerro Azul, la máxima elevación de la ciudad. Otros cerros importantes son el Cerro Santa Ana, el Cerro Mapasingue entre otros.

Aprovechando estas ventajas en el relieve, se considera instalar repetidoras en los puntos más altos de la ciudad, con el fin de cubrir la mayor distancia posible. Se propone un sistema con múltiples radio repetidoras instaladas a lo largo y ancho de la ciudad, todas las repetidoras tendrían una configuración para enlaces de Radio Punto-Multipunto, con una topología tipo estrella en cada repetidora y un sistema en anillo a base de un enlace de Fibra Óptica interconectando los servidores y las repetidoras.

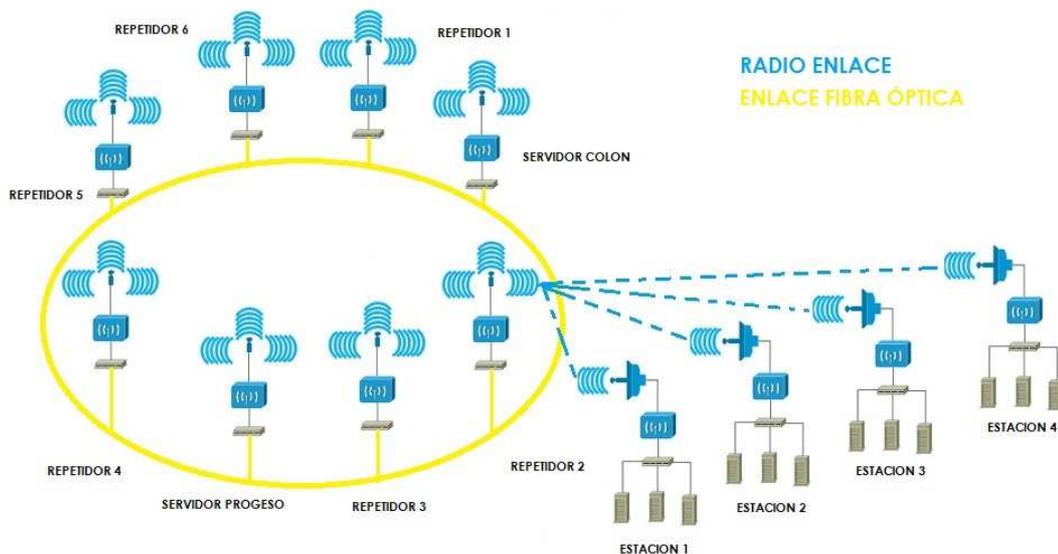


Figura 3. 2: Arquitectura del sistema de red a implementar.
Elaborado por: Autor

Los enlaces inalámbricos se realizarían con las Radios de Datos TRIO del modelo JR-900 (véase la figura 3.3), las cuales trabajan en la banda de frecuencia ISM 902-928 MHz, la cual es una banda libre, no licenciada. Esta radio dispone de la modulación de tipo FHSS, espectro ensanchado por salto de frecuencia (del inglés *Frequency Hopping Spread Spectrum*) la cual la hace más resistente al ruido y a la interferencia, pudiendo compartir una

banda de frecuencia con muchos radios transmisores brindando una interferencia mínima.



Figura 3. 3: Espectro de potencia de la señal óptica transmitida.
Elaborado por: Autor

Además de eso, utiliza la modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (*Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK*) de segundo nivel. Se posee además múltiples niveles de seguridad que se detallan a continuación:

- a. Posibilidad de encriptación de la información por medio del estándar 256-bit AES, con lo cual se les da mayor protección a los datos.
- b. Nombre de la red, la cual define el patrón de salto, cada repetidora va a tener asociado un patrón de salto diferente junto con las radios remotas conectadas a esta. Esta característica será muy importante debido a la cantidad de radios que se planea mantener transmitiendo al mismo tiempo.
- c. Tabla de Radios Remotas de confianza, esta tabla define con cuales radios se puede conectar enviar y recibir información.

En las estaciones repetidoras se instalaría una Radio con una antena Omnidireccional de tipo industrial, de aproximadamente 6 dBi de ganancia. La antena debe tener una impedancia de 50 Ohmios, la misma que brinda la salida de la radio, además de eso, la polarización que maneje debe ser vertical. De preferencia que posea una potencia máxima de salida de 150 Watts y una resistencia al viento de mínimo 100 MPH. La figura 3.4 se muestra la antena a utilizar en el sistema de telemetría con una frecuencia de operación de 900 MHz.



Figura 3. 4: Antena de frecuencia 900 MHz.
Elaborado por: Autor

Cada radio deberá constar de una fuente de poder conmutada de 120 V_{AC}/13.8 V_{DC} y de 2.5 A como mínimo, debe incluir soporte para carga de baterías, e incluir una batería de tipo seca de libre mantenimiento de 12 Ah de capacidad las cuales serán instaladas en todos los puntos de repetición sin excepción. Dicha batería, servirá como medio de respaldo, garantizando así que cuando exista un corte del suministro eléctrico, la batería proporcione un tiempo de carga para la radio de mínimo 5 horas.

Otro punto importante en la instalación de la radio es el cable coaxial. Aunque siempre la mejor opción es que el transmisor y la antena se encuentren lo más próximos posibles, habrá casos en que no será lo más adecuado. Se prevé que la máxima pérdida generada por este elemento deberá ser igual o inferior a los 2 dB.

Para cumplir con el objetivo se debe de realizar un estudio de factibilidad de comunicaciones, verificando cual es la altura mínima que se necesitará en la torre de comunicaciones, luego de esto, se deberá sumar la distancia que habrá entre la torre y el tablero de comunicaciones. Esto quiere decir que, se debe determinar la distancia que habrá entre el transmisor y la antena. Todo esto deriva en la elección del cable coaxial a utilizar.

Se recomienda un tipo de cable específico, determinado por la distancia.

< 25	m	LMR-400 o similar.
> 25 < 40	m	LMR-600 o similar.
> 40 < 55	m	LMR-900 o similar.
> 55 < 75	m	LMR-1200 o similar.

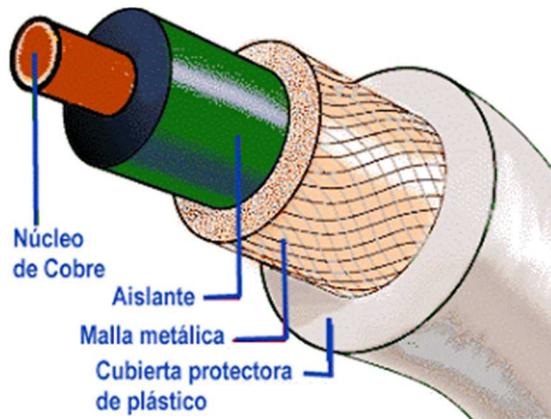


Figura 3. 5: Cable coaxial.
Fuente: (Salguero, 2011)

La manera más óptima de realizar la instalación de los equipos es colocar la antena lo más cercano al transmisor, y aprovechar la ventaja de que cada radio posee 2 puertos Ethernet, que sin repetidora puede alcanzar una transmisión de hasta 100 metros de distancia.

Una vez que se ha pensado en la instalación de la Radio, antena y de la línea de transmisión (Cable Coaxial), se debe instalar un supresor de transientes para descargas atmosféricas, el mismo protegerá a la radio si un Rayo o cualquier descarga atmosférica afecte directamente a la antena, a continuación, se observa el gráfico de la instalación del mencionado supresor.

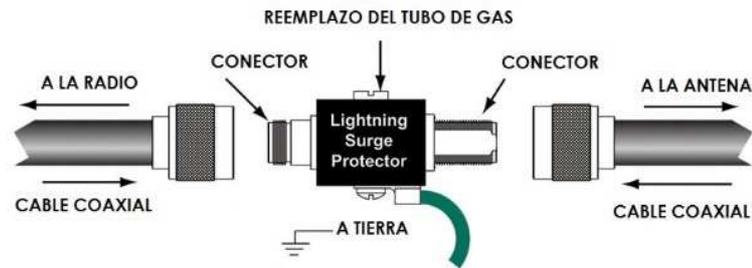


Figura 3. 6: Supresor de transientes o transitorios.
Elaborado por: Autor

Es válido mencionar que para que el supresor sea efectivo, se debe conectar su pin de tierra a una malla de tierra cuyo valor de resistencia sea menor a 5Ω , con esto se garantiza la correcta descarga de voltajes no deseados. Otro factor importante por considerar es el pararrayos, el cual debe estar mínimo a una distancia de dos metros de la altura superior de la antena, tal como se muestra en la figura 3.7.

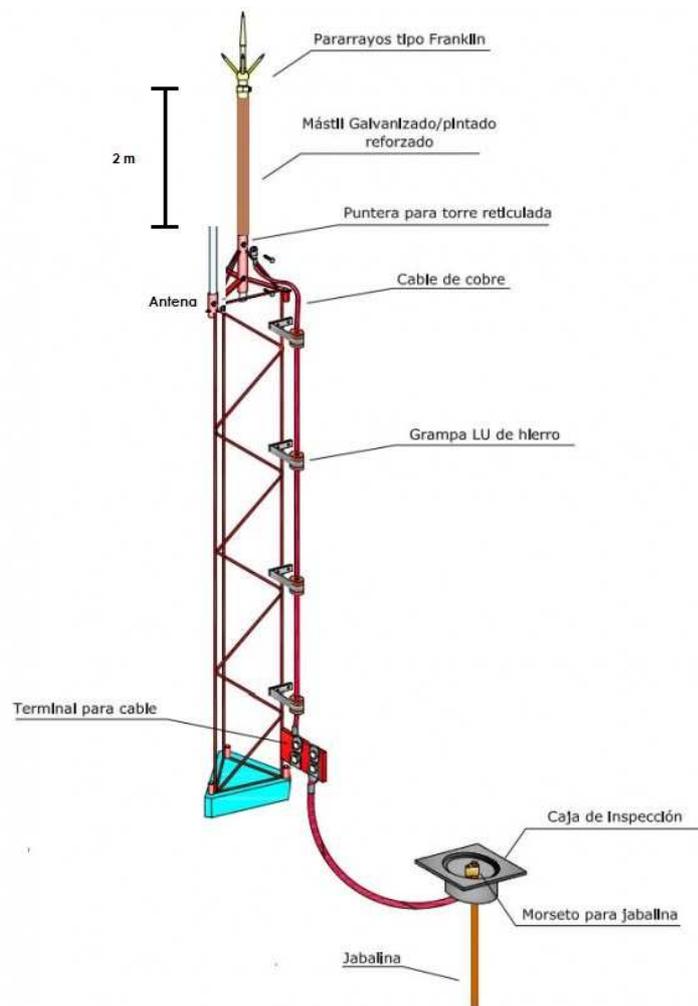


Figura 3. 7: Pararrayos, antena y puesta a tierra.
Fuente: (PCenter, 2018)

3.3. Topología de la estación remota.

Esta parte se presenta una estación remota (véase la figura 3.8) que consta de diversos elementos que en conjunto realizan la operación en automático de la estación. Todos los equipos sin excepción pasan por un Switch o Router que a su vez se conecta a un Firewall antes de transferir la información a la radio de datos. En el mercado, existe una opción de dispositivo que realiza las dos funciones: Router y Firewall en un solo equipo y es de Marca: MOXA, Modelo: EDR-810, el cual brinda protección contra intrusiones externas no deseadas, muy adicional a la encriptación realizada por las radios TRIO.

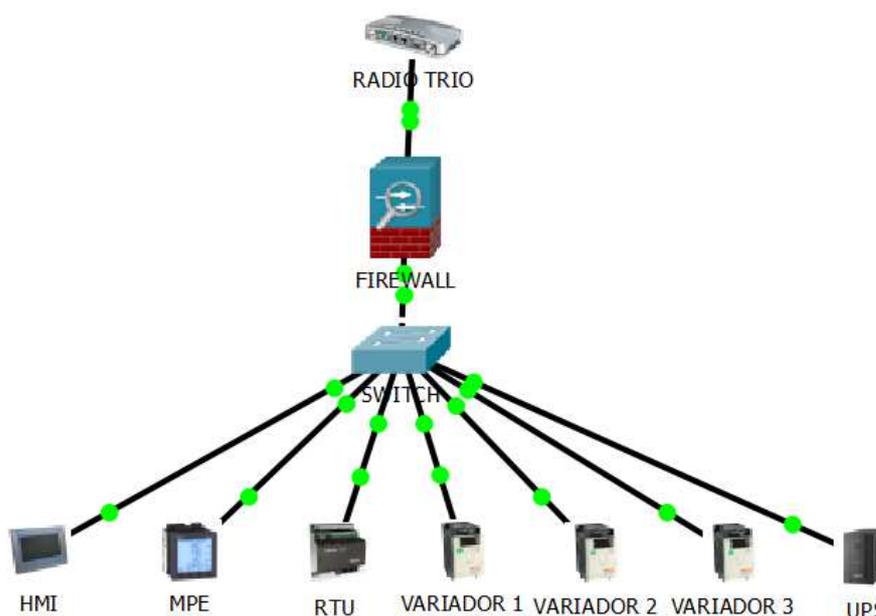


Figura 3. 8: Topología interna de la estación remota del sistema de telemetría.
Elaborado por: Autor

3.4. Topología interna de la repetidora.

En las repetidoras se prevé una instalación más sencilla, una radio TRIO se encarga de ser el punto de acceso (*Access Point, AP*) a las demás estaciones remotas configuradas como remotos. La radio se conecta mediante Ethernet directamente al router del proveedor de servicios de red por fibra óptica. Se ingresa a la red del proveedor el cual es un enlace de anillo de fibra óptica que interconecta las repetidoras y los servidores, tal como se muestra en la figura 3.9.

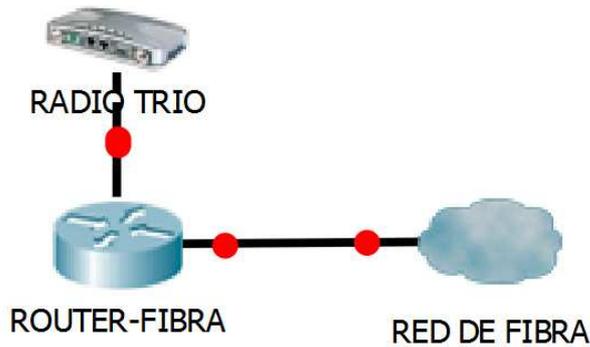


Figura 3. 9: Topología interna de repetidora del sistema de telemetría.

Elaborado por: Autor

3.5. Topología interna del servidor.

En cuanto al servidor se tiene una configuración especial, primero se asegura la conexión a la red de comunicación por fibra óptica, para esto se instala un router. El cual antes de ingresar a la red local, debe pasar por un Firewall, que permite o deniega los accesos. A partir del Firewall se enlaza a un Switch y luego al servidor, tal como se muestra en la figura 3.10. Por otro lado, en el servidor también se instala una radio TRIO que sirve de acceso a las estaciones remotas cercanas sin tener que pasar por repetidoras, que al igual que el enlace de fibra óptica, debe pasar primero por un Firewall antes de llegar a los servidores.

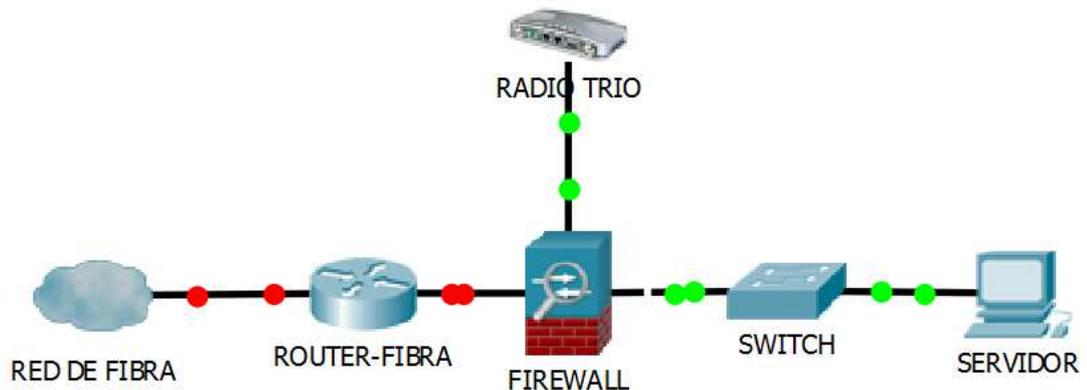


Figura 3. 10: Topología de los equipos del servidor.

Elaborado por: Autor

3.6. Arquitectura Integrada.

Al final de la instalación, la red total será lo más parecida a la figura 3.11.

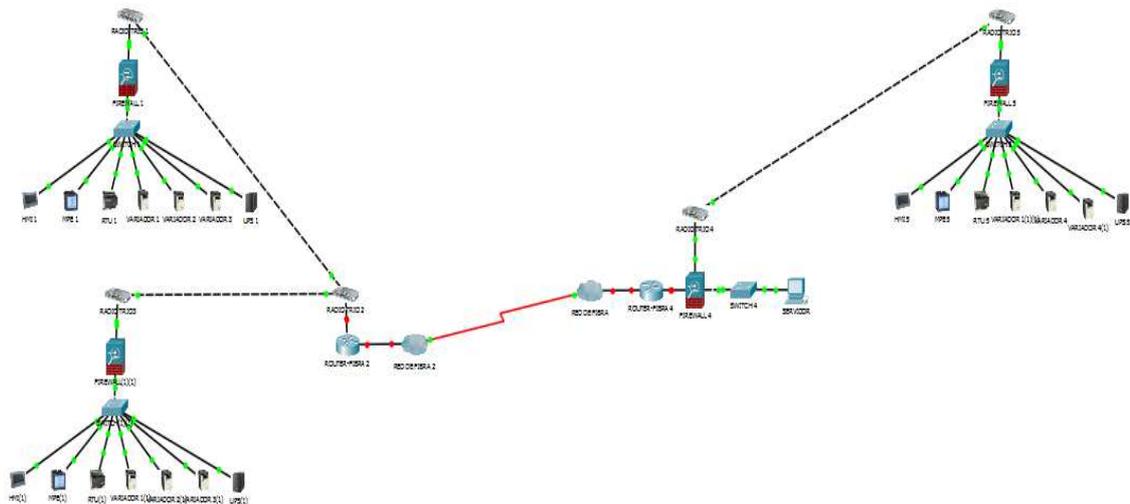


Figura 3. 11: Arquitectura integrada del sistema de telemetría.
Elaborado por: Autor

3.7. Planeación de frecuencias.

El sistema inalámbrico utiliza la tecnología GFSK de segundo nivel como método de modulación, el cual es utilizado en sistemas de comunicaciones digitales, y uno de los principales es la comunicación Bluetooth. Se trabaja entre las frecuencias 902-928 MHz con velocidades adaptativas de modulación que van entre los 512 kbps / 256 kbps / 128 kbps and 64 kbps con las que se obtendrían tasas de error de bits (Bits Error Rate, BER). La atenuación para diferentes velocidades con $BER < 1 \times 10^{-6}$ para:

- 512k @ -92dBm,
- 256k @ -102dBm,
- 128k @ -104dBm
- 64k @ -106dBm

3.8. Demanda del tráfico.

Para determinar el tráfico, se realizan mediciones de los datos transferidos en diferentes escenarios, la tabla 3.1 muestra el consumo de ancho de banda por tarea ejecutada.

Tabla 3. 1: Consumo de ancho de banda por tarea ejecutada.

DESCRIPCION	Kbps
Descarga de Datos de Configuración de RTU 334E.	45
Datos en Línea de puntos configurados en Estación Telemétrica Tamaño Pequeña.	4

Datos en Línea de puntos configurados en Estación Telemétrica Tamaño Mediano.	5
Datos en Línea de puntos configurados en Estación Telemétrica Tamaño Grande.	6
Descarga de Programa de Control (SCADAPACK WORKBECH).	53
Datos en línea del Programa de Control con Estación Telemétrica.	48

Elaborado por: El autor.

El análisis fue realizado con los softwares PRTG y WIRESHARK. Se aclara que las dos operaciones que más datos consumen, son ejecutadas excepcionalmente. Esta tarea se realiza cuando recién se enlaza una estación nueva al sistema SCADA con lo que la ocurrencia será mínima. Adicional a esto, se analizó el promedio del tamaño de carga de los dos ítems de mayor consumo, tal como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2: Consumo de ancho de banda por tarea ejecutada.

DESCRIPCION	Kbyte	Tiempo Estimado a 50 Kbps (S)
Tamaño del archivo de los datos de configuración de RTU 334E.	150	24
Tamaño del archivo del programa de control (SCADA PACK WORKBECH).	530	84.8

Elaborado por: El autor.

Para fines del diseño se establecen como condiciones mínimas para un desempeño que cubra las demandas requeridas, una capacidad del sistema por suscriptor en envío de 1.5 Mbps, lo cual corresponde a un T1 de capacidad, y una capacidad del sistema de suscriptor en retorno de 384 Kbps, suficiente para garantizar una buena calidad en video conferencia.

3.9. Ubicación de las repetidoras.

Se planea tomar ventaja de la particularidad topográfica de la ciudad de Guayaquil, la cual se encuentra rodeada de cerros, y en los cerros más altos ubicar las repetidoras. La tabla 3.3 muestra un listado de los puntos considerados como repetidoras.

Tabla 3. 3: Listado de los servidores y de las posibles repetidoras.

NUMERO	ESTACIONES REPETIDORAS Y SERVIDORES
1	SERVIDOR COLON
2	SERVIDOR PROGRESO
3	RPT TRINITARIA
4	RPT LAS CABRAS
5	RPT CERRO AZUL
6	RPT MAPASINGUE ESTE
7	RPT 85-110 SUR
8	RPT 85-110 NORTE
9	RPT VOLUNTAD DE DIOS
10	RPT BOOSTER EL CARMEN

Elaborado por: El autor.

3.9.1. Repetidora en cerro azul.

La estación repetidora se ubica en una de las torres del sector Cerro Azul, dicho cerro posee una altura máxima de 395 msnm, este punto se utiliza mucho para las telecomunicaciones debido a que proporciona una buena cobertura. La figura 3.12 muestra la ubicación de la repetidora de Cerro Azul.



Figura 3. 12: Ubicación geográfica de la repetidora en Cerro Azul.

Elaborado por: Autor

3.9.2. Repetidora en mapasingue este.

La estación repetidora se coloca en una torre ubicada en la sede de la operadora de servicios ubicada en dicho sector, este cerro posee una altura

máxima de 91 msnm. La figura 3.13 muestra la ubicación de la repetidora en cerro de mapasingue.

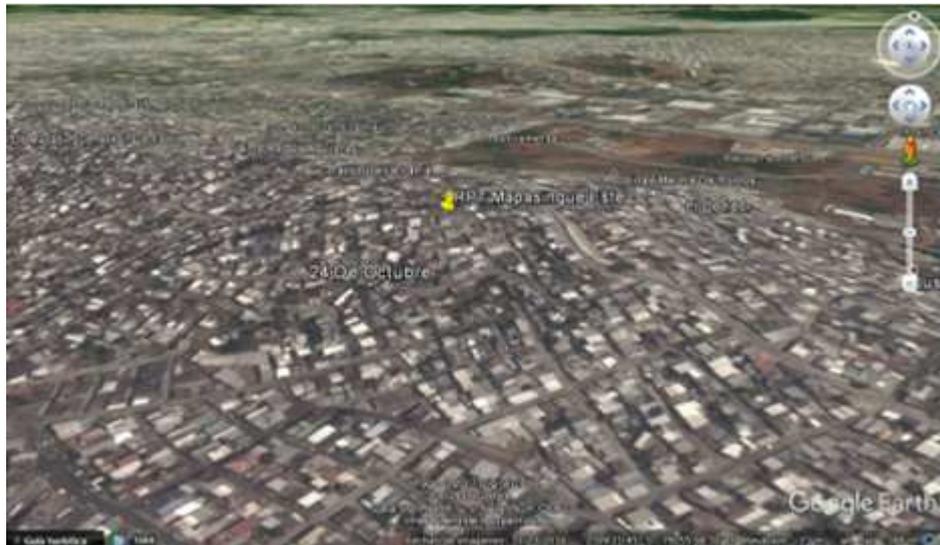


Figura 3. 13: Ubicación geográfica de la repetidora en Cerro Mapasingue este.
Elaborado por: Autor

3.9.3. Repetidora en cerro las cabras

La estación repetidora se coloca en una torre localizada en una propiedad alquilada en dicho sector, este cerro tiene una altura máxima de 64 msnm.



Figura 3. 14: Ubicación geográfica de la repetidora en Cerro Las Cabras.
Elaborado por: Autor

3.9.4. Repetidora en la Trinitaria

La estación repetidora se coloca en una estructura metálica localizada en la sede de la operadora de servicios ubicada en dicho sector, la estructura posee una altura de 24 metros.



Figura 3. 15: Ubicación geográfica de la repetidora en la Trinitaria.
Elaborado por: Autor

3.9.5. Repetidora en voluntad de Dios

La estación repetidora se coloca en una torre localizada en la sede de la operadora de servicios ubicada en dicho sector, este cerro posee una altura máxima de 54 msnm.



Figura 3. 16: Ubicación geográfica de la repetidora en Voluntad de Dios.
Elaborado por: Autor

3.9.6. Repetidora 85-110 en la Flor de Bastión Norte.

La estación repetidora se coloca en una torre localizada en la sede de la operadora de servicios ubicada en dicho sector, este cerro posee una altura máxima de 122 msnm.



Figura 3. 17: Ubicación geográfica de la repetidora en Flor de Bastión Norte.
Elaborado por: Autor

3.9.7. Repetidora Booster en el Carmen.

La estación repetidora se coloca en una torre localizada en la sede de la operadora de servicios ubicada en dicho sector, este cerro posee una altura máxima de 71.5 msnm.

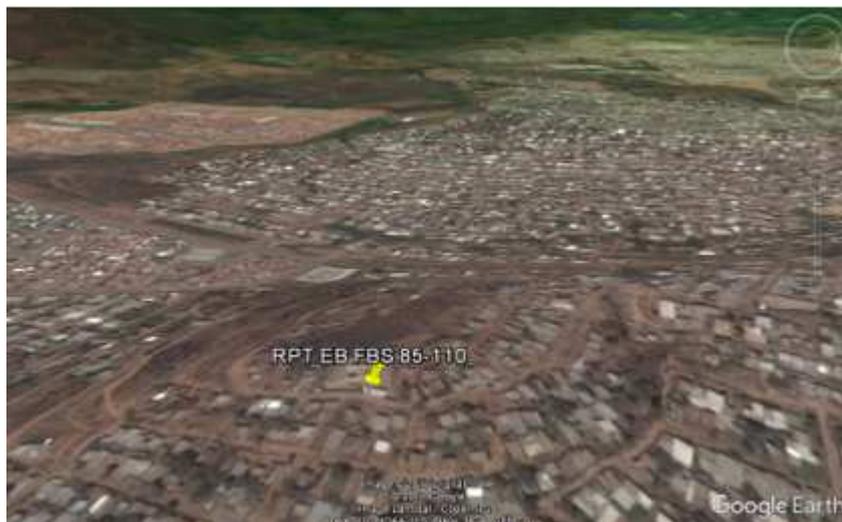


Figura 3. 18: Ubicación geográfica de la repetidora en el Carmen.
Elaborado por: Autor

3.9.8. Cobertura de la Ciudad

La figura 3.9 muestra el mapa de Guayaquil, en la cual se observa la distribución de las repetidoras. Claramente se detalla que con esta distribución están cubiertos los cuatro puntos cardinales, Norte, Sur, Este y Oeste.



Figura 3. 19: Ubicación geográfica de la cobertura en la Ciudad de Guayaquil.
Elaborado por: Autor

3.9.9. Ubicación de los suscriptores.

Tal como se definió en el presente capítulo, se plantea tener varias repetidoras, a las cuales se conectarán las estaciones telemétricas cercanas, en un sistema Punto-Multipunto, mejor conocida como topología tipo estrella. El alcance del presente trabajo de titulación prevé el enlace de 10 estaciones telemétricas, las cuales se tiene proyección de enlazar en el transcurso del presente año y el año siguiente. En la tabla se indica cuáles han sido las Estaciones Telemétricas consideradas para el enlace.

Tabla 3. 4: Listado de los suscriptores iniciales del sistema de telemetría.

NUMERO	ESTACIONES TELEMETRICAS	ACCEDE A REPETIDORA
1	BOOSTER FLOR DE BASTION NORTE	85-110 FLOR DE BASTION NORTE
2	35-60 FLOR DE BASTION NORTE	85-110 FLOR DE BASTION NORTE
3	60-85 FLOR DE BASTION NORTE	85-110 FLOR DE BASTION NORTE
4	85-110 FLOR DE BASTION NORTE	85-110 FLOR DE BASTION NORTE
5	RESERVORIO MI LOTE	85-110 FLOR DE BASTION NORTE
6	RESERVORIO SAN FRANCISCO ALTO	85-110 FLOR DE BASTION NORTE

7	PTAR LAS EXCLUSAS	TRINITARIA
8	EBAR PRADERA	TRINITARIA
9	PTAR LOS MERINOS	VOLUNTAD DE DIOS
10	EB AALL ALBORADA XII	VOLUNTAD DE DIOS

Elaborado por: Autor

3.10. Análisis de cobertura del sistema

Con ayuda del software de simulación de radio propagación RADIO MOBILE, se puede predecir el comportamiento de los diferentes radios enlaces. Dicho software, utiliza para esto, los datos topográficos del terreno con la ayuda de los mapas digitales, calculando los niveles de Fresnel y de intensidad recibida y transmitida.

Dependiendo de los resultados, se evalúa si los enlaces serán técnicamente viables o no, en cada radio enlace se determinará la altura mínima requerida a la cual se debe ubicar la antena, además del tipo y característica de esta.

Se prevé que la radio instalada en cada repetidora transmitirá a una potencia de 30 dBm (1 Vatio), el tipo de antena será OMNIDIRECCIONAL con una ganancia de 6 dBm todo esto sumado a que las radios TRIO trabajan con una sensibilidad de -107 dBm y en la frecuencia de 902-928 MHZ.

3.10.1. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – Booster de Flor de Bastión Norte.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 15 metros de altura, lugar donde se ubicará la antena, la pérdida de espacio libre es de 104.0 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 70.6 dB μ V/m. Adicional a esto se observa que el peor Fresnel es de 0.6 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta

-57.3 dBm. La distancia del enlace es de 2.34 km, tal como se muestra en la figura 3.20.

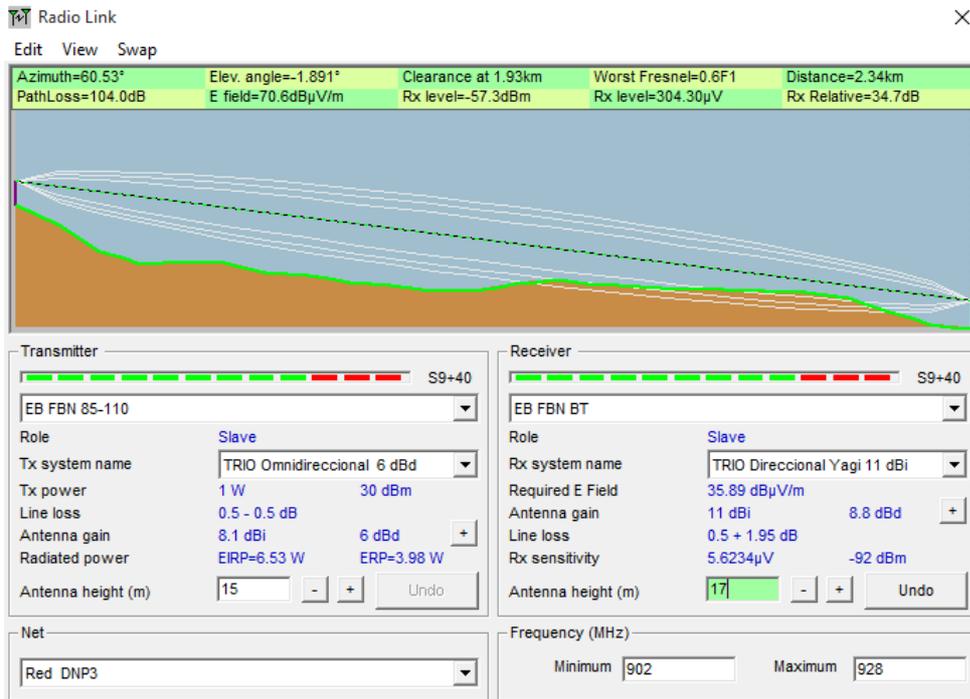


Figura 3. 20: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – Booster de Flor de Bastión Norte.

Elaborado por: Autor

En la figura 3.21 se presentan los detalles del enlace.

EB FBN 85-110 - EB FBN BT [Red DNP3]

Distance between EB FBN 85-110 and EB FBN BT is 2.3 km (1.5 miles)
 True North Azimuth = 60.53°, Magnetic North Azimuth = 62.16°, Elevation angle = -1.8911°
 Red DNP3
 Terrain elevation variation is 79.2 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0.6F1 at 1.9km
 Average frequency is 915.000 MHz
 Free Space = 99.0 dB, Obstruction = -1.5 dB TR, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.5 dB
 Total propagation loss is 104.0 dB
 System gain from EB FBN 85-110 to EB FBN BT is 138.7 dB
 System gain from EB FBN BT to EB FBN 85-110 is 138.7 dB (yagi.ant at 240.5 °1.87° gain = 11.0 dBi)
 Worst reception is 34.7 dB over the required signal to meet
 50.000% of time, 70.000% of situations

Figura 3. 21: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y Booster en la Flor de Bastión Norte.

Elaborado por: Autor

3.10.2. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – 35-60 de Flor de Bastión Norte.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte mínimo 15 m de altura, lugar donde se ubicará la antena, la pérdida de espacio libre es 102.0 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 72.6 dB μ V/m, tal como se muestra en la figura 3.22.

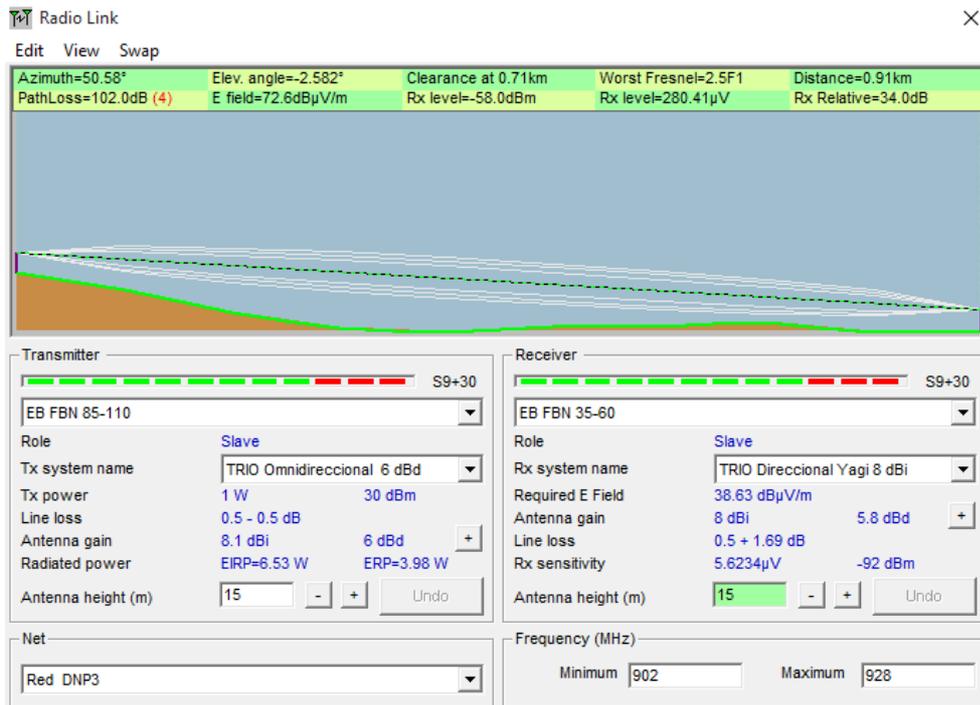


Figura 3. 22: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – 35-60 de Flor de Bastión Norte.

Elaborado por: Autor

Adicional a esto se observa que el peor Fresnel es de 2.5 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el Nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -58.0 dBm. La distancia del enlace es de 0.91 km, tal como se muestra en la figura 3.22. En la figura 3.23 se presentan los detalles del enlace analizado en esta sección.

×

EB FBN 85-110 - EB FBN 35-60 [Red DNP3]

Distance between EB FBN 85-110 and EB FBN 35-60 is 0.9 km (0.6 miles)
True North Azimuth = 50.58°, Magnetic North Azimuth = 52.20°, Elevation
angle = -2.5820°
Red DNP3
Terrain elevation variation is 42.3 m
Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 2.5F1 at 0.7km
Average frequency is 915.000 MHz
Free Space = 90.8 dB, Obstruction = 4.5 dB TR, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB,
Statistics = 6.6 dB
Total propagation loss is 102.0 dB
System gain from EB FBN 85-110 to EB FBN 35-60 is 136.0 dB
System gain from EB FBN 35-60 to EB FBN 85-110 is 136.0 dB (yagi.ant at
230.6 °2.57° gain = 8.0 dBi)
Worst reception is 34.0 dB over the required signal to meet
50.000% of time, 70.000% of situations
Warning 4

Figura 3. 23: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y 35-60 en la Flor de Bastión Norte.

Elaborado por: Autor

3.10.3. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – 60-85 de Flor de Bastión Norte.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 15 m de altura, lugar donde se ubicará la antena, la pérdida de espacio libre es de 80.6 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 94.0 dBµV/m, tal como se observa en la figura 3.24.

Adicional a esto se observa que el Peor Fresnel es de 3.6 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el Nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -36.6 dBm. La distancia del enlace es de 0.19 km, tal como se muestra en la figura 3.24. En la figura 3.25 se presentan los detalles del enlace analizado en esta sección.

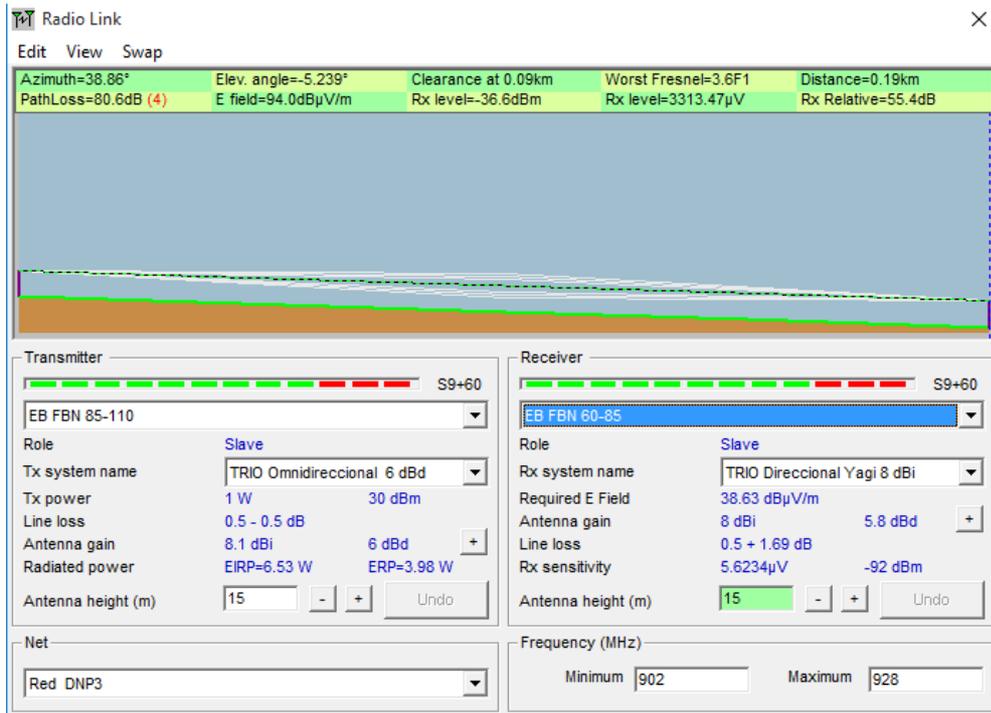


Figura 3. 24: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – 60-85 de Flor de Bastión Norte.
Elaborado por: Autor

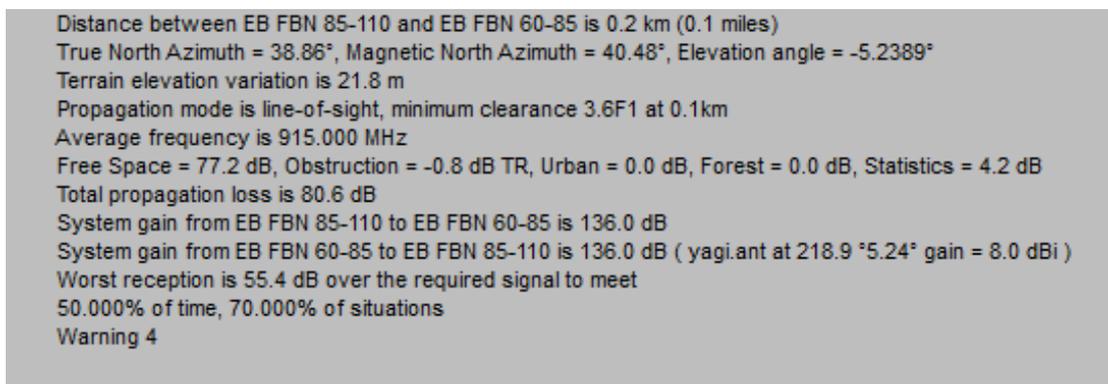


Figura 3. 25: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y 60-85 de Flor de Bastión Norte.
Elaborado por: Autor

3.10.4. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio Mi Lote.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 9 m de altura, lugar donde se ubicará la antena, la pérdida de espacio libre es de 113.7 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 58.7 dBµV/m. Adicional a esto se observa que el peor

Fresnel es de 1.3 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -68.2 dBm. La distancia del enlace es de 6.27 km, tal como se muestra en la figura 3.26. En la figura 3.25 se presentan los detalles del enlace analizado en esta sección.

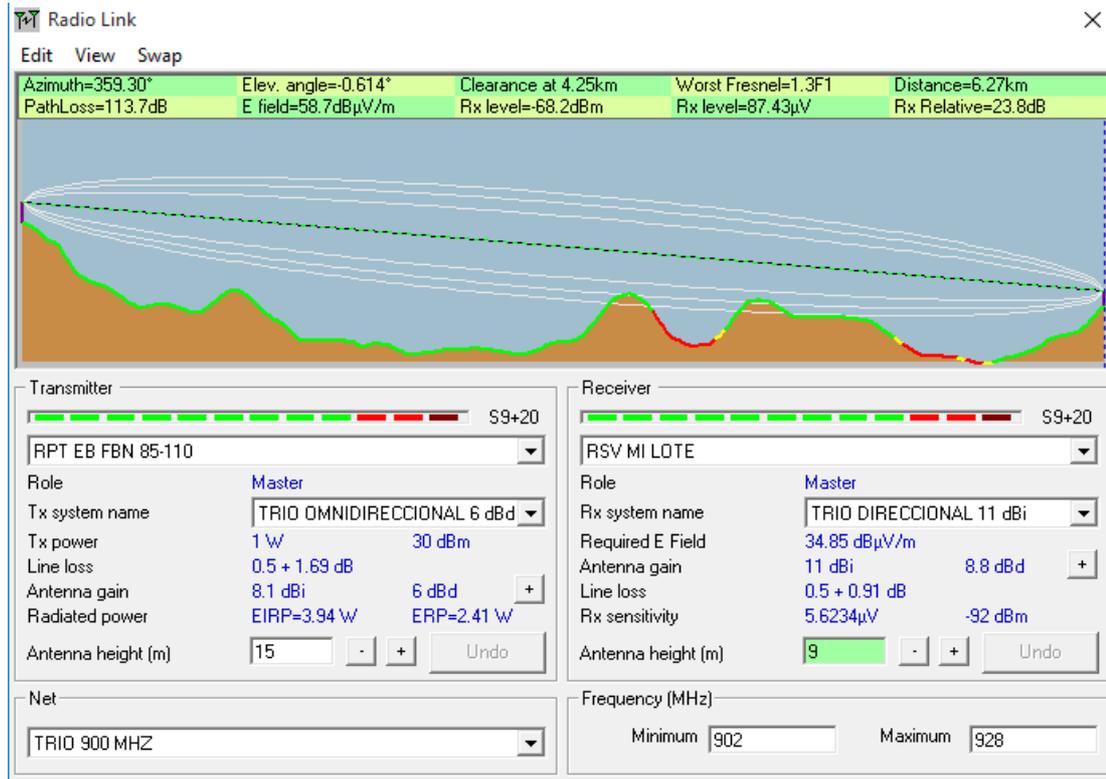


Figura 3. 26: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio Mi Lote.

Elaborado por: Autor

×

RPT EB FBN 85-110 - RSV MI LOTE [TRIO 900 MHZ]

Distance between RPT EB FBN 85-110 and RSV MI LOTE is 6.3 km (3.9 miles)
 True North Azimuth = 359.30°, Magnetic North Azimuth = 0.92°, Elevation angle = -0.6136°
 TRIO 900 MHZ
 Terrain elevation variation is 103.6 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 1.3F1 at 4.2km
 Average frequency is 915.000 MHz
 Free Space = 107.6 dB, Obstruction = -0.4 dB TR, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB,
 Statistics = 6.6 dB
 Total propagation loss is 113.7 dB
 System gain from RPT EB FBN 85-110 to RSV MI LOTE is 137.6 dB
 System gain from RSV MI LOTE to RPT EB FBN 85-110 is 137.6 dB (yagi.ant at 179.3 °0.56° gain = 11.0 dBi)
 Worst reception is 23.8 dB over the required signal to meet
 50.000% of time, 70.000% of situations

Figura 3. 27: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y Booster en la Flor de Bastión Norte.

3.10.5. Enlace de repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio San Francisco Alto.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 9 m de altura, lugar donde se ubicará la antena, la pérdida de espacio libre es de 117.9 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 54.5 dB μ V/m, tal como se muestra en la figura 3.28.

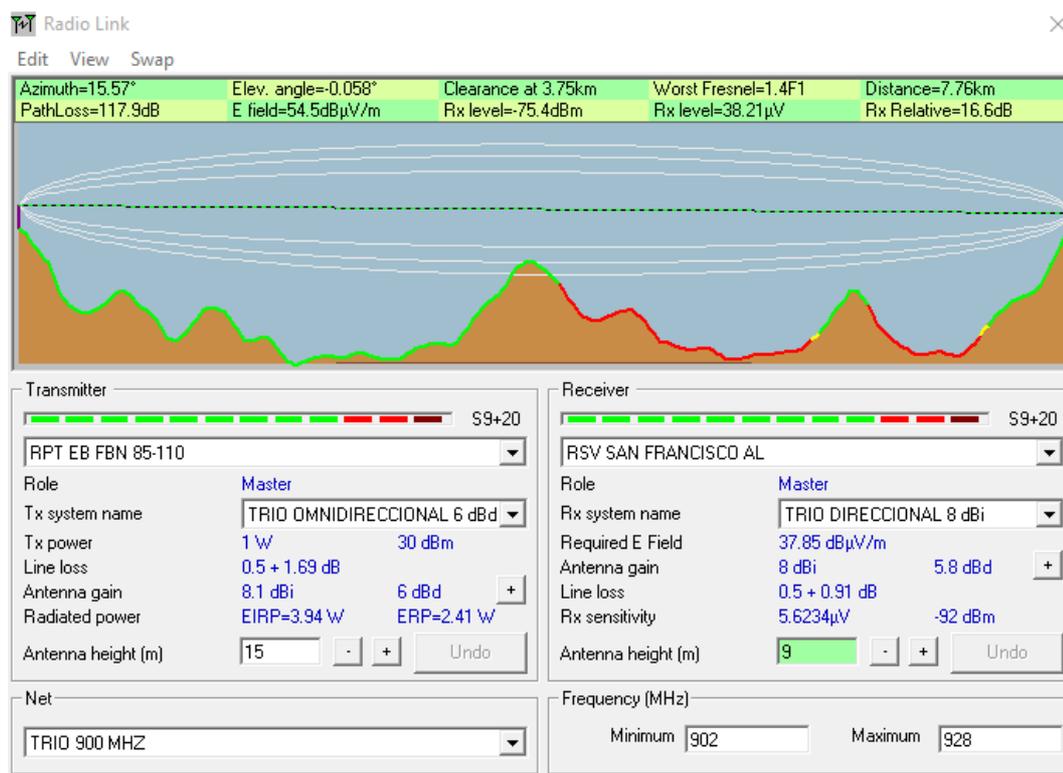


Figura 3. 28: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio San Francisco Alto.

Adicional a esto se observa que el Peor Fresnel es de 1.4 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el Nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -75.4 dBm. La distancia del enlace es de 7.76 km, tal como se observó en la figura 3.28. En la figura 3.29 se presentan los detalles del enlace analizado en esta sección.

×

**RPT EB FBN 85-110 - RSV SAN FRANCISCO AL
[TRIO 900 MHZ]**

Distance between RPT EB FBN 85-110 and RSV SAN FRANCISCO AL is 7.8 km (4.8 miles)
True North Azimuth = 15.57°, Magnetic North Azimuth = 17.19°,
Elevation angle = -0.0583°
TRIO 900 MHZ
Terrain elevation variation is 92.6 m
Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 1.4F1 at 3.7km
Average frequency is 915.000 MHz
Free Space = 109.4 dB, Obstruction = 1.9 dB TR, Urban = 0.0 dB,
Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.6 dB
Total propagation loss is 117.9 dB
System gain from RPT EB FBN 85-110 to RSV SAN FRANCISCO AL is 134.6 dB
System gain from RSV SAN FRANCISCO AL to RPT EB FBN 85-110 is 134.6 dB (yagi.ant at 195.6°-0.01° gain = 8.0 dBi)
Worst reception is 16.6 dB over the required signal to meet 50.000% of time, 70.000% of situations

Figura 3. 29: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio San Francisco Alto.

Elaborado por: Autor

3.10.6. Enlace de repetidora Trinitaria – PTAR Las Exclusas.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 15 metros de altura, lugar donde se ubicara la antena, la pérdida de espacio libre es de 111.0 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 60.3 dBμV/m.

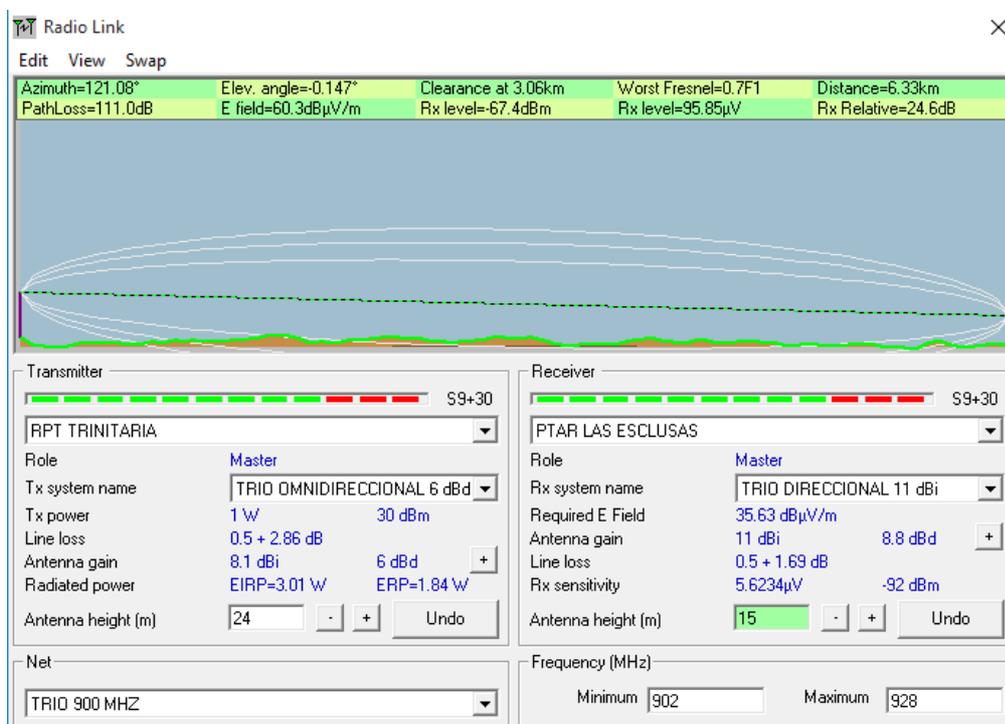


Figura 3. 30: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio San Francisco Alto.

Elaborado por: Autor

Adicional a esto se observa que el Peor Fresnel es de 0.7 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el Nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -67.4 dBm. La distancia del enlace es de 6.33 km, tal como se observó en la figura 3.30. En la figura 3.31 se presentan los detalles del enlace analizados en esta sección.

×

RPT TRINITARIA - PTAR LAS ESCLUSAS [TRIO 900 MHZ]

Distance between RPT TRINITARIA and PTAR LAS ESCLUSAS is 6.3 km (3.9 miles)
 True North Azimuth = 121.08°, Magnetic North Azimuth = 122.72°, Elevation angle = -0.1465°
 TRIO 900 MHZ
 Terrain elevation variation is 7.4 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0.7F1 at 3.1km
 Average frequency is 915.000 MHz
 Free Space = 107.7 dB, Obstruction = -2.6 dB TR, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.0 dB
 Total propagation loss is 111.0 dB
 System gain from RPT TRINITARIA to PTAR LAS ESCLUSAS is 135.6 dB
 System gain from PTAR LAS ESCLUSAS to RPT TRINITARIA is 135.6 dB (yagi.ant at 301.1 °0.09° gain = 11.0 dBi)
 Worst reception is 24.6 dB over the required signal to meet 50.000% of time, 70.000% of situations

Figura 3. 31: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 de Flor de Bastión Norte – reservorio San Francisco Alto.

Elaborado por: Autor

3.10.7. Enlace de repetidora Voluntad de Dios – PTAR Los Merinos.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 18 m de altura, lugar donde se ubicara la antena, la pérdida de espacio libre es de 106.0 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 66.4 dBμV/m, tal como se muestra en la figura 3.32.

Adicional a esto se observa que el Peor Fresnel es de 1.9 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el Nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -61.6 dBm. La distancia del enlace es de 3.29 km, tal como se observa en la figura 3.32 En la figura 3.33 se presentan los detalles del enlace analizados en esta sección.

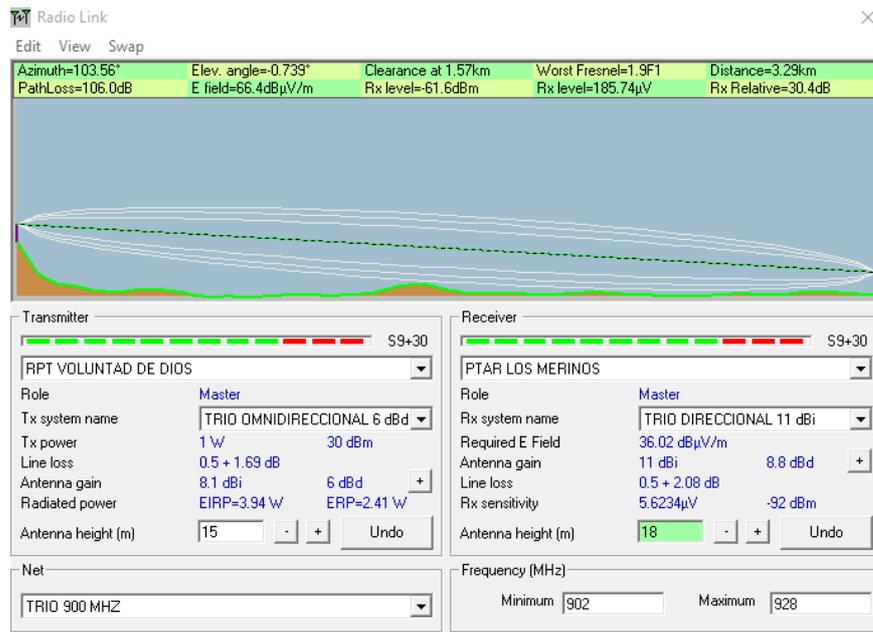


Figura 3. 32: Simulación del enlace de la repetidora Voluntad de Dios – PTAR Los Merinos.

Elaborado por: Autor

**RPT VOLUNTAD DE DIOS - PTAR LOS MERINOS
[TRIO 900 MHZ]**

Distance between RPT VOLUNTAD DE DIOS and PTAR LOS MERINOS is 3.3 km (2.0 miles)
 True North Azimuth = 103.56°, Magnetic North Azimuth = 105.23°, Elevation angle = -0.7388°
 TRIO 900 MHZ
 Terrain elevation variation is 37.8 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 1.9F1 at 1.6km
 Average frequency is 915.000 MHz
 Free Space = 102.0 dB, Obstruction = -2.4 dB TR, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.4 dB
 Total propagation loss is 106.0 dB
 System gain from RPT VOLUNTAD DE DIOS to PTAR LOS MERINOS is 136.4 dB
 System gain from PTAR LOS MERINOS to RPT VOLUNTAD DE DIOS is 136.4 dB (yagi.ant at 283.6 °0.71° gain = 11.0 dBi)
 Worst reception is 30.4 dB over the required signal to meet 50.000% of time, 70.000% of situations

Figura 3. 33: Detalles del enlace entre repetidora Voluntad de Dios – PTAR Los Merinos.

Elaborado por: Autor

3.10.8. Enlace de repetidora Voluntad de Dios – EB AALL Alborada XIII.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 15 metros de altura, lugar donde se ubicara la antena, la pérdida de espacio libre es de 111.8 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 60.6 dBμV/m. Adicional a esto se observa que el

Peor Fresnel es de 3.2 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el Nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -67.1 dBm. La distancia del enlace es de 3.29 km. En la figura 3.35 presentan los detalles del enlace analizados en esta sección.



Figura 3. 34: Simulación del enlace de la repetidora Voluntad de Dios – EB AALL Alborada XIII.

Elaborado por: Autor

RPT VOLUNTAD DE DIOS - EB AALL ALBORADA 13 [TRIO 900 MHZ]

Distance between RPT VOLUNTAD DE DIOS and EB AALL ALBORADA 13 is 1.1 km (0.7 miles)
 True North Azimuth = 130.36°, Magnetic North Azimuth = 132.03°, Elevation angle = -2.1181°
 TRIO 900 MHZ
 Terrain elevation variation is 36.5 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 3.2F1 at 0.7km
 Average frequency is 915.000 MHz
 Free Space = 92.8 dB, Obstruction = 12.5 dB TR, Urban = 0.0 dB,
 Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.5 dB
 Total propagation loss is 111.8 dB
 System gain from RPT VOLUNTAD DE DIOS to EB AALL ALBORADA 13 is 136.8 dB
 System gain from EB AALL ALBORADA 13 to RPT VOLUNTAD DE DIOS is 136.8 dB (yagi.ant at 310.4 °2.11° gain = 11.0 dBi)
 Worst reception is 24.9 dB over the required signal to meet 50.000% of time, 70.000% of situations

Figura 3. 35: Detalles del enlace entre repetidora Voluntad de Dios – EB AALL Alborada XIII.

Elaborado por: Autor

3.10.9. Enlace de repetidora Trinitaria – EBAR Pradera.

El análisis del enlace determina que es técnicamente factible, se tiene en consideración que se requiere una estructura de soporte de mínimo 12 m de altura, lugar donde se ubicará la antena, la pérdida de espacio libre es de

102.4 dB y se espera una intensidad de señal recibida en el radio TRIO de alrededor de los 58.4 dBµV/m, tal como se ilustra en la figura 3.36.

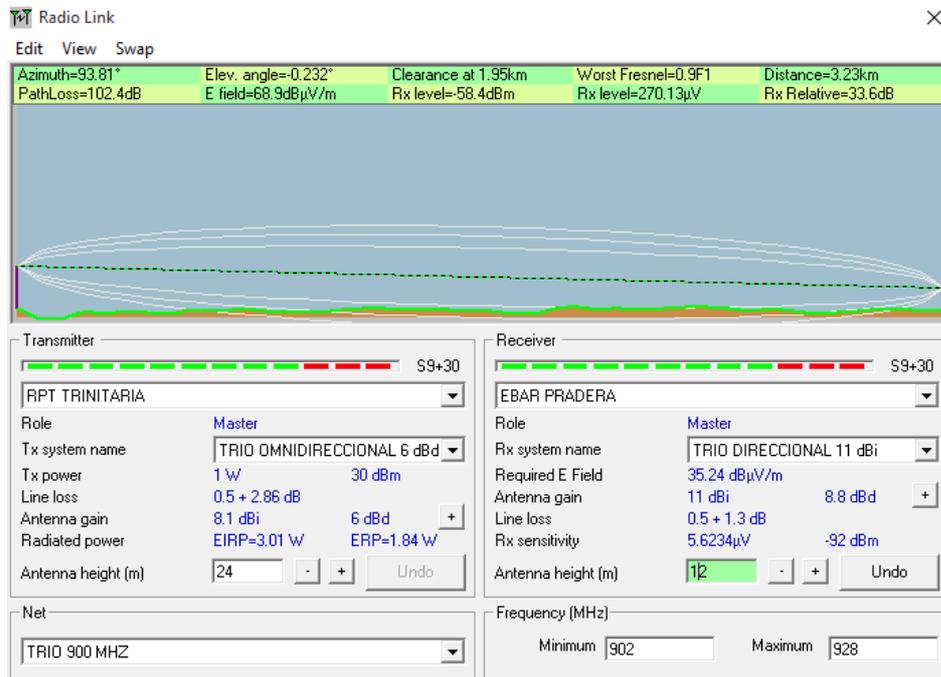


Figura 3. 36: Simulación del enlace de la repetidora 85-110 de Flor de Bastión – reservorio San Francisco Alto.

Elaborado por: Autor

RPT TRINITARIA - EBAR PRADERA [TRIO 900 MHZ]

Distance between RPT TRINITARIA and EBAR PRADERA is 3.2 km (2.0 miles)
 True North Azimuth = 93.81°, Magnetic North Azimuth = 95.45°, Elevation angle = -0.2317°
 TRIO 900 MHZ
 Terrain elevation variation is 7.1 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0.9F1 at 2.0km
 Average frequency is 915.000 MHz
 Free Space = 101.8 dB, Obstruction = -5.4 dB TR, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.0 dB
 Total propagation loss is 102.4 dB
 System gain from RPT TRINITARIA to EBAR PRADERA is 136.0 dB
 System gain from EBAR PRADERA to RPT TRINITARIA is 136.0 dB (yagi.ant at 273.8 °0.20° gain = 11.0 dBi)
 Worst reception is 33.6 dB over the required signal to meet
 50.000% of time, 70.000% of situations

Figura 3. 37: Detalles del enlace entre repetidora 85-110 y Booster en la Flor de Bastión Norte.

Elaborado por: Autor

Adicional a esto se observa que el peor Fresnel es de 0.9 que, para considerarlo bueno debe ser mayor o igual a 0.6 y el nivel de recepción entre -40 y -80 dBm y en la simulación presenta -58.4 dBm. La distancia del enlace es de 3.23 km, tal como se observó en la figura 3.36. La figura 3.37 presenta los detalles del enlace analizados en esta sección.

3.11. Inversión requerida y costo de capital.

A continuación, en la tabla 3.5 se detallan los costos estimados de equipos y materiales requeridos para la instalación de una repetidora. Se aclara que no se está tomando en cuenta las estructuras metálicas donde se ubicarían las antenas, debido a que al momento en cada sitio ya existe una estructura de soporte, ni tampoco se considera el alquiler de las sedes en las que la empresa no sea la propietaria del inmueble. Debido a la importancia del sistema y a la calidad del suministro eléctrico, se recomienda el uso de un UPS que abastezca de energía en caso de fallar el suministro eléctrico.

Tabla 3. 5: Equipos de comunicaciones a utilizar en repetidoras.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Radio TRIO 900 MHz	UNI	1	3000	3000
Antena Omnidireccional 6 dBi	UNI	1	700	700
Fuente de poder conmutada 13.8 VDC	UNI	1	350	350
Cable coaxial LMR-400	M	25	20	500
Supresor de transientes para RF	UNI	1	210	210
Batería seca de 12VDC 12Ah	UNI	1	85	85
Tablero de equipos incluye protecciones	UNI	1	400	400
UPS 120 VAC 1.5 KVA	UNI	1	2200	2200
Filtro pasabanda 900 MHZ	UNI	1	450	450
				7995

Elaborado por: Autor

Los costos incluyen mano de obra. Aparte del costo de los equipos, se debe contar con el costo del alquiler del anillo de fibra, el cual se estima por estación, como se tendrán ocho repetidoras más dos servidores, el costo al final se multiplica por 10. En la tabla 3.6 se muestra los costos del alquiler de enlaces de fibra óptica.

Tabla 3. 6: Costos de anillos de fibra óptica.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Costo de enlace de fibra 1 MB anual por estación	UNI	1	1960	1960

Elaborado por: Autor

En las estaciones telemétricas nuevas, se requiere de una estructura metálica, muy necesaria para el montaje de la antena, a continuación, se detalla en la tabla 3.7 los costos de esta estructura, se toma de ejemplo una altura de 15 m. Se especifica que la altura es definida en el estudio de factibilidad de comunicaciones y es individual para cada punto.

Tabla 3. 7: Costos de diferentes tipos de estructuras para montaje de antenas.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Torre auto-soportada de 15 m	UNI	1	28850	28850
Torre arriestrada de 15 m	UNI	1	1700	1700
Torre monopolo de 15 m	UNI	1	34850	34850

Elaborado por: Autor

Los valores pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de estructura y de la altura de esta, si se elige la torre arriestrada el costo representa un 7% del costo de la torre auto-soportada y un 5% del costo de la torre monopolo. Los elementos por utilizarse en la estación telemétrica se detallan en la tabla 3.8.

Tabla 3. 8: Equipos de comunicaciones de las estaciones telemétricas.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Radio TRIO 900 MHz	UNI	1	3000	3000
Antena direccional de 10 dBi	UNI	1	550	550
Fuente de poder conmutada	UNI	1	350	350
Cable coaxial LMR-400	M	25	20	500
Supresor de transientes para RF	UNI	1	210	210
Batería seca de 12VDC 12Ah	UNI	1	85	85
Firewall – Switch	UNI	1	1590	1690
				6385

Elaborado por: Autor

En todas las estaciones telemétricas, se recomienda utilizar antenas unidireccionales del tipo Yagi, mientras que en las repetidoras se deberá utilizar antenas omnidireccionales, para lo cual la ganancia de las antenas para cada punto será definida en el estudio de factibilidad. Uno de los

elementos a recalcar, es que el costo de las antenas unidireccionales muchas veces es inferior al de las antenas omnidireccionales. En los costos de las estaciones telemétricas no se considera UPS, pues se asume en los costos generales de la estación. En la tabla 3.9 se proyectan los costos del plan, iniciando la conexión con diez estaciones telemétricas.

Tabla 3. 9: Proyección de costos totales.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Costo de enlace de fibra 1 MB ANUAL	UNI	10	1960	19600
Costo de equipos de comunicaciones repetidoras	UNI	10	7995	79950
Costo de equipos de comunicaciones de estaciones telemétricas	UNI	10	6385	63850
Costo de torres auto-soportadas de 15 m	UNI	10	28850	288500
Costo Total Aproximado de Inversión				451900

Elaborado por: Autor

3.12. Gestión de la Red implementada

Cuando la red este implementada, e inicie la transferencia de información a través de los distintos enlaces, surge la necesidad de gestionarlas. El monitorear y controlar los recursos que componen la red, nos dará una mejor idea de capacidad y rendimiento, así como de utilización, reconfiguración, diagnóstico, planificación, entre otras. Con esta tarea, se debe asegurar que todos los sistemas de una organización se encuentren en un estado óptimo de funcionamiento la mayor cantidad de tiempo posible, minimizando así, pérdidas que generarían paradas inesperadas del mismo.

Se sugiere la utilización del programa PRTG, configurando adecuadamente los parámetros se podrán alcanzar el máximo rendimiento. El fabricante de las radios TRIO, la compañía SCHNEIDER ELECTRIC, pone a disposición de los usuarios los archivos MIB, el cual es lo más parecido a una base de datos que contiene en forma estructurada los parámetros gestionables de dicho dispositivo. En la tabla 3.10 se detallan las radios elegidas para iniciar la monitorización del sistema telemétrico.

Tabla 3. 10: Estaciones gestionadas.

Ítem	Estaciones telemétricas gestionadas vía PRTG
1	Booster Flor de Bastión Norte
2	35-60 Flor de Bastión Norte
3	60-85 FLOR DE BASTION NORTE
4	85-110 FLOR DE BASTION NORTE
5	SERVIDOR COLON
6	SERVIDOR PROGRESO

Elaborado por: Autor

A continuación, la figura 3.38 muestra el grafico con los parámetros de la radio elegidos para la monitorización del sistema telemétrico.

Radio	PING	(002) eth0	(004) br0	error group/...	error group/...	general grou...	general grou...	radio group/...
192.168.0.180 (RDFBNBOOSTER)	PING 5 285 msec	(002) eth0 1 kbit/s	(004) br0 1 kbit/s	error group/... Normal	error group/... No	general grou... 31 #	general grou... 36 #	radio group/... Synchronised
192.168.0.181 (RDFBN3560)	PING 6 92 msec	(002) eth0 3 kbit/s	(004) br0 1 kbit/s	error group/... Normal	error group/... No	general grou... 35 #	general grou... 37 #	radio group/... Synchronised
192.168.0.182 (RDFBN6085)	PING 7 89 msec	(002) eth0 4 kbit/s	(004) br0 1 kbit/s	error group/... Normal	error group/... No	general grou... 34 #	general grou... 34 #	radio group/... Synchronised
192.168.0.183 (RDFBN85-110)	PING 8 53 msec	(002) eth0 3 kbit/s	(004) br0 1 kbit/s	error group/... Normal	error group/... No	general grou... 29 #	general grou... 35 #	radio group/... Synchronised
192.168.0.101 (RDPROGRESO)	PING 9 1 msec	(002) eth0 4 kbit/s	(004) br0 1 kbit/s	error group/... Normal	error group/... No	general grou... 30 #	general grou... 33 #	radio group/... Synchronised
192.168.0.100 (RDCOLON)	PING 10 953 msec	(002) eth0 0.09 KByte/s	(006) br0 1 kbit/s	error group/... Normal	error group/... No	general grou... 28 #	general grou... 35 #	radio group/... Synchronised

Figura 3. 38: Parámetros de monitoreo elegidos en el sistema de telemetría.

Elaborado por: Autor

En mayor detalle se observan en la tabla 3.11 los parámetros elegidos.

Tabla 3. 11: Parámetros de gestión del sistema de telemetría elegido.

PARAMETRO	DESCRIPCION
Ping	Utilidad de diagnóstico que comprueba la conectividad de un equipo en la red
Ancho de banda	Capacidad de información que se puede enviar y recibir en un enlace o conexión de red en determinado segmento de tiempo
Broadcast	Paquetes de datos que se envía a todos los dispositivos de la red
Error general	Señal de alerta o alarma general reportada por la radio
VSWR Alto	Indica que existe una elevada medición de energía reflectada en una línea de transmisión
Carga de CPU	Porcentaje de utilización de la capacidad de trabajo de la CPU
Temperatura de la radio	Medición de temperatura actual de la radio
Estado de sincronización	Estado actual de la sincronización de la radio

Elaborado por: Autor

En la figura 3.39 se observa cómo quedan los parámetros una vez configurados.

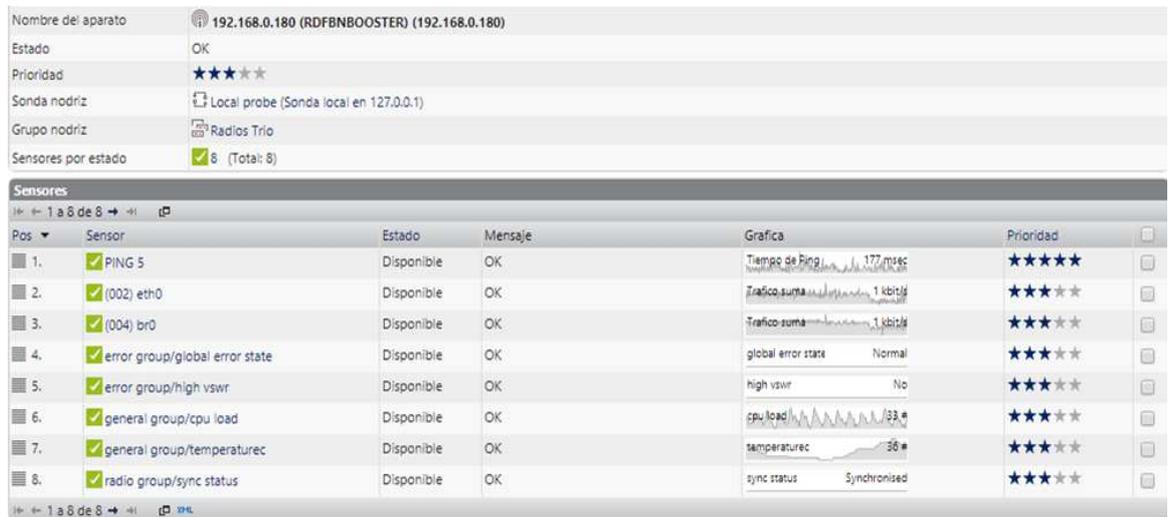


Figura 3. 39: Parámetros de gestión para un dispositivo del sistema de telemetría.

Elaborado por: Autor

Todos los valores se registran bajo un periodo especificado en cada parámetro, se debe ser precavido en los tiempos de consulta debido a que este método consume un ancho de banda no despreciable. Los registros se pueden analizar con mayor detenimiento en caso de alguna falla puntual, debido a que se manejan históricos de los mismos. Existen parámetros preconfigurados que permiten la visualización de históricos por dos días, mes o año y por datos actuales, tal como se muestra en la figura 3.40.

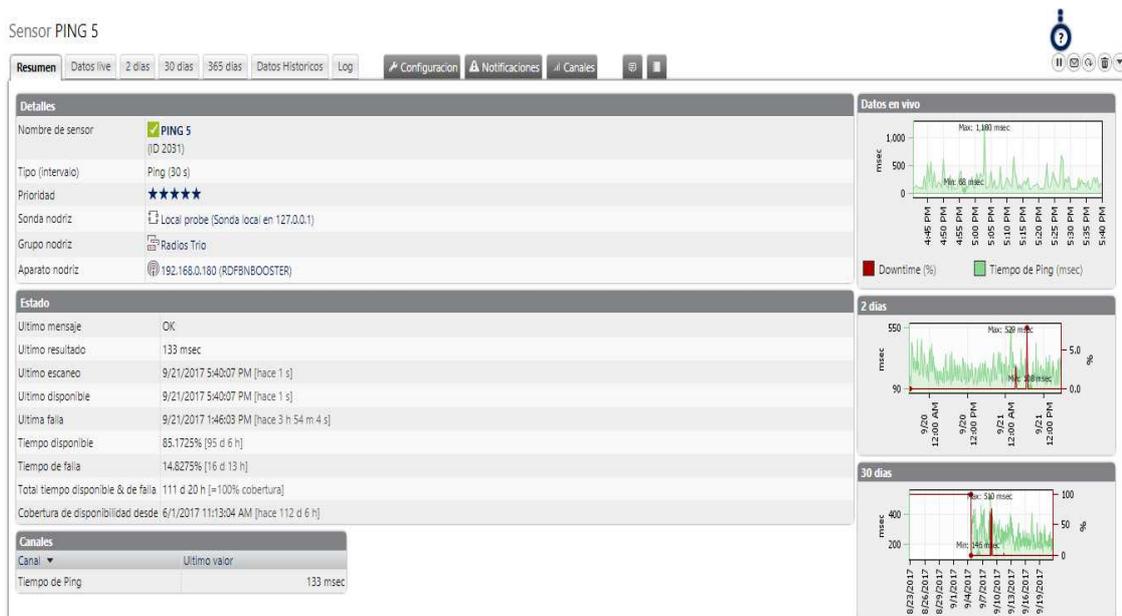


Figura 3. 40: Parámetros PING.

Elaborado por: Autor

Está de más indicar la utilidad de este recurso, en cada parámetro se obtendrán los promedios, máximos mínimos e historial de consumo de los parámetros, tal como se ilustra en la figura 3.41.

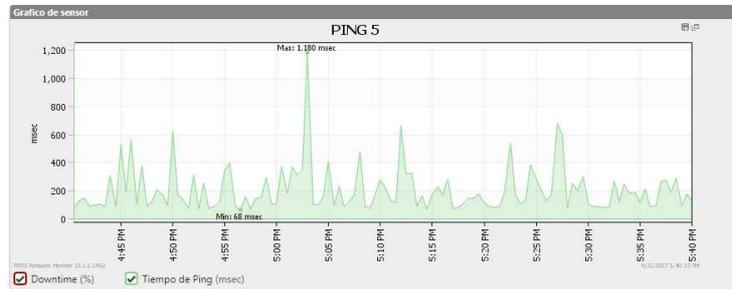


Figura 3. 41: Parámetros PING, historial de consumo.
Elaborado por: Autor

Conclusiones

Sin lugar a duda el avance en las redes de datos, sobre todo las redes inalámbricas han traído innumerables beneficios a las Telecomunicaciones. Permitiendo a objetivos antes no alcanzables, dispersos y con poca posibilidad de conexión, tener conectividad. Ampliando de esta manera la flexibilidad y muchas veces la movilidad de estos. Evidentemente también van de la mano con el desarrollo generado en los equipos terminales. En este estudio cabe destacar que las redes inalámbricas son reales y ya se han conseguido implementar con éxito en diversos sectores, siendo el más idóneo para la transmisión de información, además proporcionan ciertas características como la movilidad y la flexibilidad que con las redes cableadas son complicadas de obtener.

Los beneficios de la Fibra Óptica, sobre todo el ancho de banda, perfecto para el Backbone y la tecnología Inalámbrica vía Radio, por ser económica y brindar accesibilidad a los distintos puntos, utilizando una frecuencia de uso libre, la banda ISM. Luego de realizados los estudios de factibilidad, se determinó que las conexiones tendrán resultados satisfactorios, y que la empresa podría aplicar todo lo detallado en la presente investigación, debido a que muestra condiciones técnico-operativas excelentes y es económicamente estable.

Todo esto conlleva a obtener grandes beneficios, con una alta disponibilidad de enlaces y accesibilidad hasta el último dispositivo IP instalado. A través del estudio de las características de los principales sistemas de supervisión y gestión de las redes de telecomunicaciones soterradas se conoció la evolución y estado actual de esta temática en el mundo y se crearon criterios para la selección de sus elementos e implementación.

Se cumplió con los objetivos al presentar una propuesta preliminar de los elementos necesarios que conformarían el sistema de supervisión y gestión de las redes de telecomunicaciones. Además, se presenta una

evaluación de los costos de los distintos elementos para la alternativa propuesta.

Al final de la implementación del presente trabajo, se observa una mayor estabilidad y confiabilidad de la red.

Recomendaciones

Se recomienda hacer énfasis en el tema de seguridad informática, el protocolo IP es víctima de un elevado número de ataques cibernéticos, los cuales serían graves al tratarse de una red de telemetría que maneja un recurso vital.

Continuar realizando los estudios de factibilidad de enlace, previo a la anexión de una estación nueva.

Buscar nuevos puntos que sirvan de repetidores para alcanzar una mayor cobertura.

Bibliografía

- Artusio-Glimpse, A., Simons, M. T., Ryger, I., Kautz, M., Lehman, J., & Holloway, C. L. (2018). Measurement of Radio-Frequency Radiation Pressure. *arXiv:1802.05551 [physics]*. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/1802.05551>
- Balmaceda, J., Aubert, J., & Arias, M. R. (2017). Performance analysis of radio link implementation for low cost deployed WiMAX networks. En *2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII)* (pp. 1–5). Managua: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CONCAPAN.2017.8278516>
- Bizagwira, H., Toussaint, J., & Misson, M. (2014). Experimental protocols and testbed for radio link quality evaluation over the freshwater. En *2014 IFIP Wireless Days (WD)* (pp. 1–4). Rio de Janeiro, Brazil: IEEE. <https://doi.org/10.1109/WD.2014.7020849>
- Castel. (2013). Transmisión y receptor de enlaces 300 MHz Sielco [Venta de equipos]. Recuperado el 26 de julio de 2018, de <http://castel.cl/site/index.php/transmision-am-fm-tv/stl-microondas/enlaces-para-radio/transmitter-and-receiver-link-300mhz-sielco.html>
- Çayirci, E., & Rong, C. (2009). *Security in wireless ad hoc and sensor networks*. Chichester, U.K: Wiley.
- Chen, L., & William Atwood, J. (2018). Performance Evaluation for Secure Internet Group Management Protocol and Group Security Association Management Protocol. En *2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE)* (pp. 1–5). Quebec, QC, Canada: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCECE.2018.8447633>

- Coleman, D. D., & Westcott, D. A. (2018). Radio Frequency Fundamentals. En *CWNA: Certified Wireless Network Administrator Study Guide* (pp. 69–100). Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado de <http://doi.wiley.com/10.1002/9781119549406.ch3>
- Fawad. (2017). Digital Microwave Communication Equipment. Recuperado el 26 de agosto de 2018, de <https://www.daenotes.com/electronics/microwave-radar/digital-microwave-communication-equipment>
- Forouzan, B. A., & Chung Fegan, S. (2010). *TCP/IP protocol suite*. New York, NY.: McGraw-Hill.
- Hurtado de Barrera, J., & Barrera Morales, M. F. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Caracas: Instituto Universitario de Tecnología Caripito: Servicios y Proyecciones para América Latina.
- Juxeo. (2017). Telemetry for water networks. Recuperado de <http://www.automatica.gr/En/downloads/telemetry-for-water-networks.pdf>
- Kessler, G. (2008). On Teaching TCP/IP Protocol Analysis to Computer Forensics Examiners. *Journal of Digital Forensic Practice*, 2(1), 43–53.
- Kim, H., Kwon, D., & Ju, H. (2014). Analysis of ICMP policy for edge firewalls using active probing. En *The 16th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium* (pp. 1–4). Hsinchu: IEEE. <https://doi.org/10.1109/APNOMS.2014.6996591>
- Lu, W. (2003). *Designing TCP/IP Functions In FPGAs* (MSc Thesis). Delft University of Technology, Netherlands. Recuperado de http://ce-publications.et.tudelft.nl/publications/1008_designing_tcpip_functions_in_fpgas.pdf

- Martínez Álvarez, A. (2016). *Comparativa del rendimiento de variantes del protocolo TCP en satélites geoestacionarios* (Proyecto Final de Carrera). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/89057>
- Nakanishi, A., Hatayama, K., Onoduka, T., & Kimura, T. (2015). An embedded system of TCP/IP communication by using FPGA. En *2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)* (pp. 489–492). Osaka, Japan: IEEE. <https://doi.org/10.1109/GCCE.2015.7398630>
- Nath, P. B., & Uddin, M. (2015). TCP-IP Model in Data Communication and Networking. *American Journal of Engineering Research*, 4(10), 102–107.
- PCenter. (2018). Sistemas de protección contra rayos. Recuperado el 30 de julio de 2018, de <http://www.pcenterperu.com/proyectos/pararrayos/>
- Rhee, M. Y. (2013). TCP/IP Suite and Internet Stack Protocols. En *Wireless Mobile Internet Security* (pp. 15–62). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. Recuperado de <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118512920.ch2>
- Salguero, A. (2011). Redes de areas locales: cable coaxial. Recuperado el 28 de julio de 2018, de <http://angello-salguero.blogspot.com/2011/06/cable-coaxial.html>
- Stallings, W. (2014). *Data and computer communications* (Tenth edition). Boston: Pearson.
- Teximco. (2017). Estación de Bombeo de Berisso [Obras de ingeniería]. Recuperado el 25 de junio de 2018, de

<http://teximco.com.ar/es/obras/obras-de-ingenieria/estacion-de-bombeo-de-berisso>

Vela R., P. A. (2015). *Estudio y diseño de un radio enlace para transmisión de datos, e Internet en Frecuencia libre para la Cooperativa Indígena Alfa y Omega utilizando equipos Airmax de Ubiquiti* (Tesis). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10776>

Wei-hua, J., Wei-hua, L., & Jun, D. (2003). The application of ICMP protocol in network scanning. En *Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists. Modern Technique and Technologies. MTT'2002 (Cat. No.02EX550)* (pp. 904–906). Chengdu, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/PDCAT.2003.1236446>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **León Cáceres, Edward David** con C.C: # 091892852-4 autor del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de una red híbrida de telemetría basada en Ethernet para empresas operadoras de sistemas de AAPP y AASS en áreas metropolitanas**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 20 de noviembre del 2018

f. _____

Nombre: **León Cáceres, Edward David**

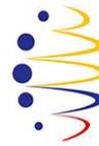
C.C: 091892852-4



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño e implementación de una red híbrida de telemetría basada en Ethernet para empresas operadoras de sistemas de AAPP y AASS en áreas metropolitanas		
AUTOR(ES)	León Cáceres, Edward David		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Edwin Palacios Meléndez; MSc. Néstor Zamora Cedeño / MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de noviembre del 2018	No. DE PÁGINAS:	89
ÁREAS TEMÁTICAS:	Teoría de la Comunicación, Comunicaciones Ópticas, Sistemas de Comunicaciones		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Redes, Telemetría, Ethernet, Estaciones Remotas, Repetidoras, Propagación.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo tuvo como propósito el diseño e implementación de una red híbrida de telemetría basada en Ethernet para empresas operadoras de sistemas de agua potable y servidas en áreas metropolitanas como en este caso lo es Guayaquil. En el capítulo 1, se realizó la descripción del proyecto de intervención. En el capítulo 2, se describió los fundamentos teóricos de radiofrecuencia (RF) y de los sistemas de telemetría basados en diferentes topologías. En el capítulo 3, se realiza el diseño e implementación de la red híbrida de telemetría, en el cual se incluyen la arquitectura del sistema, topologías internas de la estación remota, repetidora y del servidor, planeación de frecuencias, demanda del tráfico, ubicación de las repetidoras, análisis de propagación de la cobertura del sistema utilizando el software Radio Mobile para los enlaces entre las diferentes estaciones remotas utilizadas en el proyecto, la inversión requerida y del sistema de gestión de la red implementada.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0992338489	E-mail: edwardleonc@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			