



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS



TITULO DE LA TESIS

Diseño de un Sistema de Radioenlaces
Redundantes y de Alta Disponibilidad para
transmitir información de los Sistemas de
Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y
Videovigilancia de las estaciones de la refinería
Talara en el Departamento de Piura.

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO**

PRESENTADO POR:

Bach. Sánchez Solano Miguel Ángel
Bach. Vargas Samamé José Royfer

LAMBAYEQUE PERU

2018

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA



Diseño de un Sistema de Radioenlaces
Redundantes y de Alta Disponibilidad para
transmitir información de los Sistemas de
Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y
Videovigilancia de las estaciones de la refinería
Talara en el Departamento de Piura.

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO**

Bach. Sánchez Solano Miguel Ángel
Bach. Vargas Samamé José Royfer

ASESOR

ING. CHICLAYO PADILLA HUGO JAVIER

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

TITULO DE LA TESIS

Diseño de un Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura.

Como requisito para obtener el Título Profesional de
Ingeniero Electrónico

Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo
PRESIDENTE

Ing. Nombera Lossio Martin Augusto
SECRETARIO

Ing. Romero Cortez Oscar Ucchelly
VOCAL

LAMBAYEQUE, PERU

2018

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

TITULO DE LA TESIS

Diseño de un Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura.

Como requisito para obtener el Título Profesional de
Ingeniero Electrónico

Sustentado por:

Bach. Sánchez Solano Miguel Ángel
TESISTA

Bach. Vargas Samamé José Royfer
TESISTA

Asesorado por:

Ing. Chiclayo Padilla Hugo Javier
ASESOR

LAMBAYEQUE, PERU
2018

Agradecimientos

Dedico este trabajo con un agradecimiento profundo a Dios, a mi abuelo Javier Solano, mis Padres y al amor de mi vida Yuliana por la confianza, los retos y el apoyo incondicional que me brindaron para dar este paso.

Sánchez Solano Miguel Ángel
Bachiller Ingeniería Electrónica

Agradezco a Dios por sobre todas las cosas, a mi madre por todo su apoyo incondicional, en memoria de mi amigo el ingeniero Víctor Jara Sandoval. A mi familia y a mis amistades por el apoyo sincero, el recuerdo de mis abuelos Isidro y Propita, Gracias a mi esposa e hijos por su apoyo ya que ellos son mi inspiración para afrontar las situaciones adversas que se me presentan.

Muchas Gracias

Vargas Samamé José Royfer
Bachiller Ingeniería Electrónica

Lambayeque 2018

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el Diseño de un Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura.

El trabajo incluye el diseño del radioenlace, el diseño estructural de la mini-planta, el diseño y simulación del sistema de control mediante el estudio de metodologías de desarrollo de interfaces, por el cual se podrá visualizar el comportamiento de los principales elementos del sistema de control; requiriendo para su implementación los equipos e instrumentos siguientes: Variador de Velocidad, Transmisor Indicador de Flujo, Válvula de Control con Posicionador, HMI.

Podemos concluir que el diseño permite disminuir los grandes riesgos inherentes a una empresa como en la Refinadora Talara, como son los riesgos de incendio, explosión, fugas y robos de combustible.

ABSTRACT

The main objective of this research work was the Design of a Redundant and High Availability Radio-relay System to transmit information from the Pipeline Leak Detection Systems, SCADA and Video Surveillance of the Talara refinery stations in the Department of Piura.

The work includes the design of the radio link, the structural design of the mini-plant, the design and simulation of the control system through the study of interface development methodologies, by which the behavior of the main elements of the system can be visualized. control; requiring the following equipment and instruments for its implementation: Speed Variator, Flow Indicator Transmitter, Control Valve with Positioner, HMI.

We can conclude that the design allows to reduce the great risks inherent in a company such as the Talara Refinery, such as the risks of fire, explosion, leaks and fuel thefts.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|---------------|
| CAPITULO I: ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN | 12 |
| 1.1. ASPECTO INFORMATIVO..... | 13 |
| 1.1.1. Título..... | 13 |
| 1.1.2. Personal investigador | 13 |
| 1.1.3. Asesor..... | 13 |
| 1.1.4. Centro o instituto de investigación..... | 13 |
| 1.1.5. Área de investigación | 13 |
| 1.1.6. Lugar de ejecución | 13 |
| 1.1.7. Beneficiarios del proyecto..... | 13 |
| 1.2. ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTIFICA..... | 14 |
| 1.2.1. Marco Lógico..... | 14 |
| 1.2.1.1 Situación problemática | 14 |
| 1.2.1.2 Antecedentes | 14 |
| 1.2.2. Formulación del problema científico | 15 |
| 1.2.2.1 Objetivos | 16 |
| 1.2.2.1.1 Objetivo general | 16 |
| 1.2.2.1.2 Objetivo Específico | 16 |
| 1.2.3. Justificación e importancia de la investigación..... | 16 |
| 1.2.4. Hipótesis..... | 17 |
| 1.2.5. Diseño metodológico..... | 17 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO..... | 18 |
| 2.1. SISTEMA DE RADIOENLACES..... | 19 |
| 2.2. Tipos de radioenlaces..... | 26 |
| 2.2.1. Radioenlace terrestre..... | 26 |
| 2.2.2. Radioenlace satelital..... | 28 |
| 2.2.3. Radioenlace por guía de onda | 31 |
| 2.3. Técnicas de diversidad de un radioenlace..... | 32 |
| 2.3.1. Diversidad de espacio..... | 32 |
| 2.3.2. Diversidad de frecuencia..... | 33 |
| 2.3.3. Diversidad de polarización..... | 33 |
| 2.4. Sistema redundante y de alta confiabilidad..... | 34 |
| 2.5. SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS..... | 40 |
| 2.6. Deteccion y control de fugas en la industria de hidrocarburos | 53 |
| 2.7. SISTEMA DE VIDEOVIGILANCIA Y SEGURIDAD..... | 56 |
| 2.7.1. Evolución de los sistemas de seguridad..... | 56 |
| 2.7.2. Sistemas de seguridad basados en cámaras IP..... | 61 |

| | |
|--|-----------|
| 2.7.3. Tipos de conexión de las cámaras IP..... | 64 |
| 2.7.4. Bloques internos de una cámara IP..... | 67 |
| CAPITULO III: METODOLOGÍA PROPUESTA..... | 71 |
| 3.1. DETERMINAR EL ANCHO DE BANDA EN LA TOPOLOGÍA DE COMUNICACIÓN..... | 72 |
| 3.1.1. Ancho de banda utilizado en cada estación | 72 |
| 3.1.2. Ancho de banda utilizado en cada Radioenlace..... | 72 |
| 3.2. MEDICIÓN DE PARÁMATROS IMPORTANTES..... | 73 |
| 3.2.1. Distancia entre dos puntos geográficos..... | 73 |
| 3.2.2. Alcance máximo del Radioenlace..... | 74 |
| 3.2.3. Medición del PIRE..... | 74 |
| 3.2.4. Medición de pérdidas por atenuación en los cables de transmisión..... | 74 |
| 3.2.5. Medición de pérdidas en el espacio libre..... | 74 |
| 3.2.6. Medición de la Zona de Fresnel..... | 75 |
| 3.2.7. Determinación de la confiabilidad y tiempo de interrupción del Radioenlace..... | 75 |
| 3.2.8. Medición del margen de desvanecimiento..... | 76 |
| 3.2.9. Medición de la potencia recibida..... | 76 |
| 3.2.10. Determinación de la orientación y altura de las antenas..... | 77 |
| CAPITULO IV: DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL..... | 78 |
| 4.1. CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA UTILIZADO POR CADA CÁMARA..... | 79 |
| 4.2. CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA UTILIZADO EN CADA RADIOENLACE..... | 81 |
| 4.2.1. Cálculo para el Radioenlace Estación 59 - Patio Tanques PTT..... | 81 |
| 4.2.2. Cálculo para el Radioenlace Patio de Tanques PTT - Folche..... | 82 |
| 4.2.3. Cálculo para el Radioenlace Folche – Estación 172..... | 84 |
| 4.2.4. Cálculo para el Radioenlace Estación 172 – Válvula N°1..... | 86 |
| 4.2.5. Cálculo para el Radioenlace Válvula N°1 – Válvula N°2..... | 87 |
| 4.2.6. Cálculos para la altura de las torres..... | 90 |
| 4.3. CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA TOTAL DE CADA ESTACIÓN..... | 91 |
| 4.4. ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS..... | 91 |
| CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 96 |
| 5.1. Conclusiones..... | 97 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 97 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 98 |

INTRODUCCION

El presente proyecto tiene como finalidad Diseño de un Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura.

La Refinería Talara se ubica en el kilómetro 1185 de la carretera Panamericana Norte, en el distrito y provincia de Talara, departamento de Piura.

Operaciones Talara cuenta con un Patio de Tanques Tablazo que se conecta con tres oleoductos a la Estación de Bombeo N° 59 (Overales), a la Estación de Bombeo N° 172 (Pariñas) y a la Planta de Tratamiento Carrizo, para efectuar las operaciones de transferencia de hidrocarburos.

Los sistemas de Transporte y los Ductos que atraviesan Áreas de Alta Consecuencia, deben estar equipados con un Sistema Automático de Supervisión y Control y Lectura de Parámetros a Distancia (SCADA), acorde con la longitud, capacidad y el riesgo que impliquen. En el diseño de la instrumentación de campo y el sistema SCADA, debe incluirse los dispositivos necesarios para implementar un sistema automático de detección de fugas en el Ducto.

Las salas de control de las Estaciones deben contar con sistemas de detección de humo, mezclas explosivas, fuego y otros que fueran aplicables, los cuales deberán estar interconectados al sistema SCADA.

Para interconectar estos subsistemas de supervisión y control es necesario interconectar las estaciones de la refinería a través de un radioenlace que cumpla con los requerimientos de ancho de banda requerido.

El presente proyecto está orientado a disminuir los grandes riesgos inherentes a una empresa como en la Refinadora Talara, como son los riesgos de incendio, explosión, fugas y robos de combustible.

Es por eso que las salas de control de las Estaciones deben contar con sistemas de detección de humo, mezclas explosivas, fuego y otros que fueran aplicables, los cuales deberán estar interconectados al sistema SCADA,

además contra robos también deberá contar con un sistema de video-vigilancia.

Por lo tanto para interconectar todo este sistema de monitoreo y vigilancia en las diferentes estaciones de la refinería como son: Estación 59, Patio Tanques PTT, Folche, Estación 172, Válvula 1 y Vlavula2, es necesario el diseño e implementación de un sistema de radioenlace de alta fiabilidad que garantice una comunicación ininterrumpida además de transportar todo el tráfico generado por controladores, componentes y cámaras IP de la red.

En el Capítulo I: ASPECTOS DE LA INVESTIGACION; se presentan los hechos preliminares de la tesis tales como la situación problemática, justificación e importancia de la investigación, objetivos, formulación de la hipótesis y el diseño metodológico.

En el Capítulo II: MARCO TEORICO; de acuerdo a la revisión bibliográfica, se define la base teórica que servirá para el desarrollo y sustento de la investigación, definiendo el diseño e implementación del sistema de radioenlace.

En el Capítulo III: METODOLOGIA PROPUESTA; se calcula que ancho de banda dimensionado (BW) es suficiente para transportar la información del sistema.

En el Capítulo IV: DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA DE RADIOENLACE, se realiza el diseño y simulación del sistema de radioenlace.

Se realiza el cálculo de ancho de banda de cada radioenlace para el correcto funcionamiento del sistema, de acuerdo a las características del proceso.

En el Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, mostraremos las razones fundamentales por las que, el desarrollo de nuestro proyecto de investigación es viable y correcto; a su vez, daremos a conocer algunas recomendaciones para su futura implementación.

Podemos concluir que el presente trabajo de investigación permite disminuir los grandes riesgos inherentes a una empresa como en la Refinadora Talara, como son los riesgos de incendio, explosión, fugas y robos de combustible.

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO I

1.1. ASPECTO INFORMATIVO

1.1.1. Título

Diseño de un Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura.

1.1.2. Personal Investigador

1.1.2.1. Autor

Nombre: Bach. Miguel Ángel Sánchez Solano
Dirección: Manuel María Izaga 556 – Tercer Piso – Chiclayo.
E – mail: msanchez@techquk.com
Teléfono: 948523952

1.1.2.2. Autor

Nombre: Bach. José Royfer Vargas Samamé
Dirección: Calle Piura 581 – Int. 6 – José Olaya – Chiclayo
E – mail: royfervs@hotmail.com
Teléfono: 969990932

1.1.3. Asesor

Nombre: Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
E – mail: hchiclayo@hotmail.com
Teléfono: 952852364

1.1.4. Centro o instituto de investigación

Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

1.1.5. Área de Investigación

Ingeniería Electrónica – Telecomunicaciones

1.1.6. Lugar de ejecución

Refinería Talara ubicada en el kilómetro 1185 de la carretera Panamericana Norte, en el distrito y provincia de Talara, departamento de Piura.

1.1.7. Beneficiarios del proyecto

Refinería Talara – Piura y los Estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica – FACFyM

1.2. ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. MARCO LÓGICO

1.2.1.1. Situación Problemática

La Refinería Talara se ubica en el kilómetro 1185 de la carretera Panamericana Norte, en el distrito y provincia de Talara, departamento de Piura.

Operaciones Talara cuenta con un Patio de Tanques Tablazo que se conecta con tres oleoductos a la Estación de Bombeo N° 59 (Overales), a la Estación de Bombeo N° 172 (Pariñas) y a la Planta de Tratamiento Carrizo, para efectuar las operaciones de transferencia de hidrocarburos.

Los sistemas de Transporte y los Ductos que atraviesan Áreas de Alta Consecuencia, deben estar equipados con un Sistema Automático de Supervisión y Control y Lectura de Parámetros a Distancia (SCADA), acorde con la longitud, capacidad y el riesgo que impliquen. En el diseño de la instrumentación de campo y el sistema SCADA, debe incluirse los dispositivos necesarios para implementar un sistema automático de detección de fugas en el Ducto.

Las salas de control de las Estaciones deben contar con sistemas de detección de humo, mezclas explosivas, fuego y otros que fueran aplicables, los cuales deberán estar interconectados al sistema SCADA.

Para interconectar estos subsistemas de supervisión y control es necesario interconectar las estaciones de la refinería a través de un radioenlace que cumpla con los requerimientos de ancho de banda requerido.

1.2.1.2. Antecedentes

- **FERNANDEZ VALENTIN, CHRISTIAN RENZO Y DAVILA QUISPE LUIS ANTONIO (2013)**

DISEÑO DE UNA RED DE TRANSPORTE PARA LA INTEGRACION DE LA REGION MADRE DIOS A LA RED TRONCAL DE TELECOMUNICACIONES EN EL PERU.

En esta tesis se hace un estudio de los parámetros importantes a tener en cuenta cuando se desea hacer un radioenlace como son: la propagación de la onda en el espacio y

cálculos para obtener ganancias, pérdidas, atenuaciones de la señal a transmitir.

Además, se tienen en cuenta factores como la distancia del radioenlace, el clima, el tipo de zona geográfica, la existencia o no de vías de comunicación para la instalación y mantenimiento de las estaciones base, apoyados en cálculos manuales y software especializado en el diseño de dichos parámetros.

RIVAS CRUZ, JUAN ANTONIO Y VELASQUEZ VILLA CARLOS ANTONIO (2011)

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE VIDEO-VIGILANCIA Y SOFTWARE LIBRE

En este trabajo se implementó un sistema de video vigilancia utilizando cámaras de distintas características y fabricantes.

Este sistema de video-vigilancia tiene la finalidad de monitorear el área vigilada de forma remota, a través de internet. Además, el autor hace un estudio acerca de la transmisión de la imagen y video registrados por las cámaras y el proceso para recibir notificaciones por correo o activar alarmas en alguna central.

ING. LOPEZ DIAZ, MARCO ULISES (2006)

DETECCION REMOTA DE FUGAS DE GAS Y PETROLEO POR MEDIO DE ESPECTROMETRIA

En esta tesis se hace una descripción de los métodos más comunes de detección de fugas y derrames de petróleo. También presenta las bases teóricas para la detección remota de hidrocarburos.

Este trabajo describe la forma adecuada de adquirir los datos así como algunas consideraciones que se deberán tomar en cuenta al momento de implementar el sistema que detectara las fugas.

1.2.2. Formulación del Problema Científico

¿Cómo realizar el Diseño de un Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección

de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura?

1.2.2.1. Objetivos

1.2.2.1.1. Objetivo general

Sistema de Radioenlaces Redundantes y de Alta Disponibilidad para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Videovigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura.

1.2.2.1.2. Objetivos específicos

- Estudiar el principio y metodología de diseño de un radioenlace.
- Calcular el ancho de banda en la topología de comunicación.
- Realizar los cálculos para el sistema de radioenlaces en las 6 estaciones.
- Seleccionar los equipos e instrumentos para implementación del sistema.
- Simular el sistema de radioenlaces a fin de determinar su factibilidad.

1.2.3. Justificación e importancia de la investigación

El presente proyecto está orientado a disminuir los grandes riesgos inherentes a una empresa como en la Refinadora Talara, como son los riesgos de incendio, explosión, fugas y robos de combustible.

Es por eso que las salas de control de las Estaciones deben contar con sistemas de detección de humo, mezclas explosivas, fuego y otros que fueran aplicables, los cuales deberán estar interconectados al sistema SCADA, además contra robos también deberá contar con un sistema de video-vigilancia.

Por lo tanto para interconectar todo este sistema de monitoreo y vigilancia en las diferentes estaciones de la refinería como son: Estación 59, Patio Tanques PTT, Folche, Estación 172, Válvula 1 y Vlavula2, es necesario el diseño e implementación de un sistema de radioenlace de alta fiabilidad que garantice una comunicación ininterrumpida además de transportar todo el tráfico generado por controladores, componentes y cámaras IP de la red.

1.2.4. Hipótesis

Con la información adquirida si es posible diseñar un Sistema de Radioenlaces para transmitir información de los Sistemas de Detección de Fugas de Oleoductos, SCADA y Video-vigilancia de las estaciones de la refinería Talara en el Departamento de Piura.

1.2.5. Diseño metodológico.

El procedimiento para la realización del proyecto comprende las siguientes fases:

- Identificar y georreferenciar las estaciones a considerar en el proyecto.
- Calcular el ancho de banda utilizado por cada estación.
- Calcular el ancho de banda utilizado en cada radioenlace.
- Realizar el diseño del radioenlace considerando los modelos matemáticos relacionados en ello.
- Identificación de los componentes críticos que deben ser alimentados por el sistema.
- Simular y Evaluar la viabilidad del radioenlace.
- Seleccionar los equipos e instrumento para la solución encontrada.

MARCO TEÓRICO

CAPITULO II

2.1. SISTEMA DE RADIOENLACES

Se puede definir un radioenlace como un sistema de comunicación entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente estos enlaces se realizan a un rango de frecuencias que oscila entre los 800MHz y 42GHz.

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

Para el correcto funcionamiento de un radioenlace es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las condiciones atmosféricas de la región. Para poder calcular las alturas libres debe conocerse la topografía del terreno, así como la altura y ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto. Desde el techo del estudio, donde se coloque la antena del radioenlace, deberá verse sin problema la antena de la planta.

La elección de la banda de frecuencias en la que va a trabajar un radioenlace es una decisión fundamental durante la fase de diseño, pues entre otras cosas afectará al alcance del mismo y a la calidad de la señal recibida. En determinados casos no existe la posibilidad de elegir las frecuencias de funcionamiento, pues vienen impuestas de antemano, pero en otros muchos casos si se dispone de cierto grado de libertad. En todo caso, y tanto si se utilizan bandas libres como aquellas que requieren licencia, debemos ser cuidadosos en el diseño e instalación para evitar que los equipos causen interferencias con otros sistemas o radioenlaces instalados previamente.

Resulta evidente la ventaja inherente a la utilización de una banda libre, aunque por contra existen más posibilidades de sufrir interferencias. En aquellos sistemas en donde no sea posible utilizar una banda libre, o bien se prefiera adquirir una licencia de uso con el consiguiente desembolso económico, nos veremos beneficiados por un mayor control de las posibles interferencias. En este caso, deberá asegurarse que los transmisores emiten a la frecuencia de canal adecuada y que las señales no exceden del ancho de banda máximo permitido. Para ello existe normativa al respecto que se debe

conocer (**UIT-R P.525, UIT-R P.526, UIT-R P.530 y UIT-R P.676 de la UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES**).

Un radioenlace está constituido por estaciones terminales y repetidoras intermedias, con equipos transceptores, antenas y elementos de supervisión y reserva. Además de las estaciones repetidoras, existen las estaciones nodales donde se demodula la señal y se la baja a banda base y en ocasiones se extraen o se insertan canales.

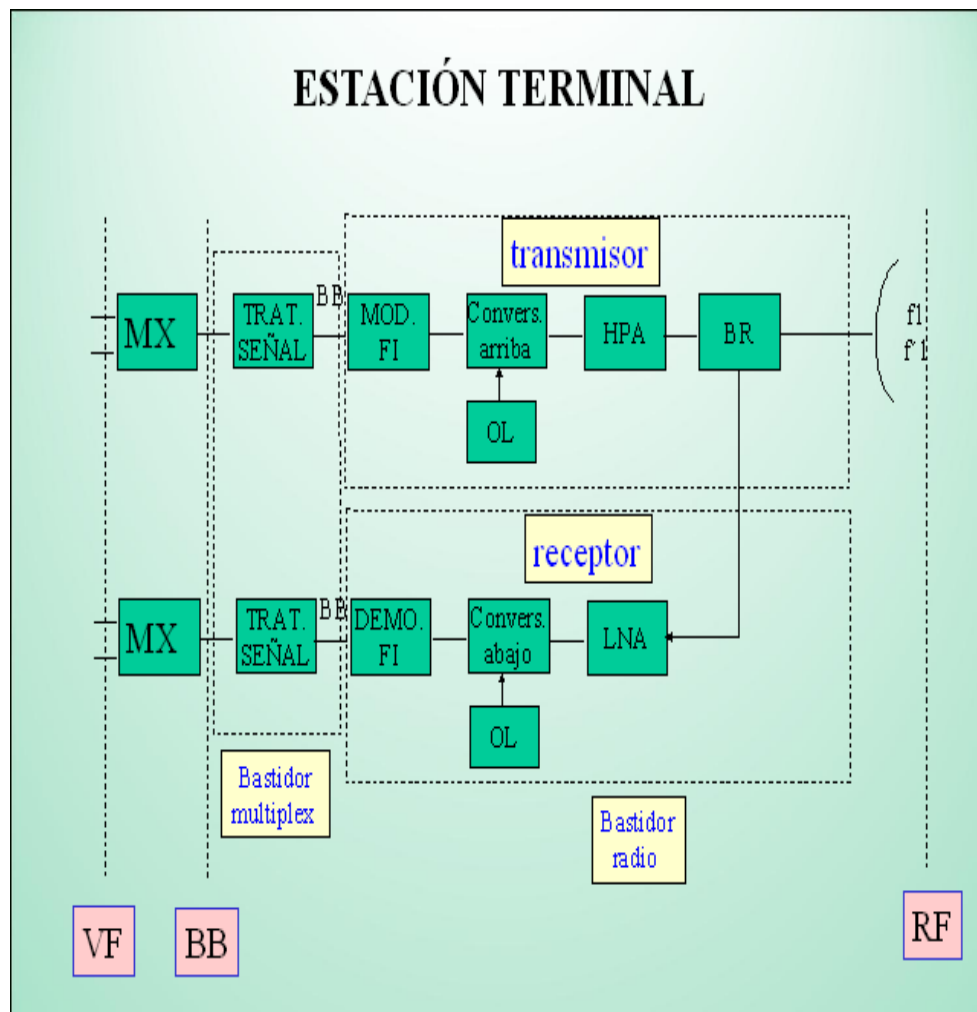


Figura 1: Diagrama de bloques de una estación terminal.

En cuanto a los repetidores se los puede clasificar en activos o pasivos.

- **Activos:** En ellos se recibe la señal en la frecuencia de portadora y se le reduce a una frecuencia intermedia (IF) para amplificarla y retransmitirla en la frecuencia de salida.

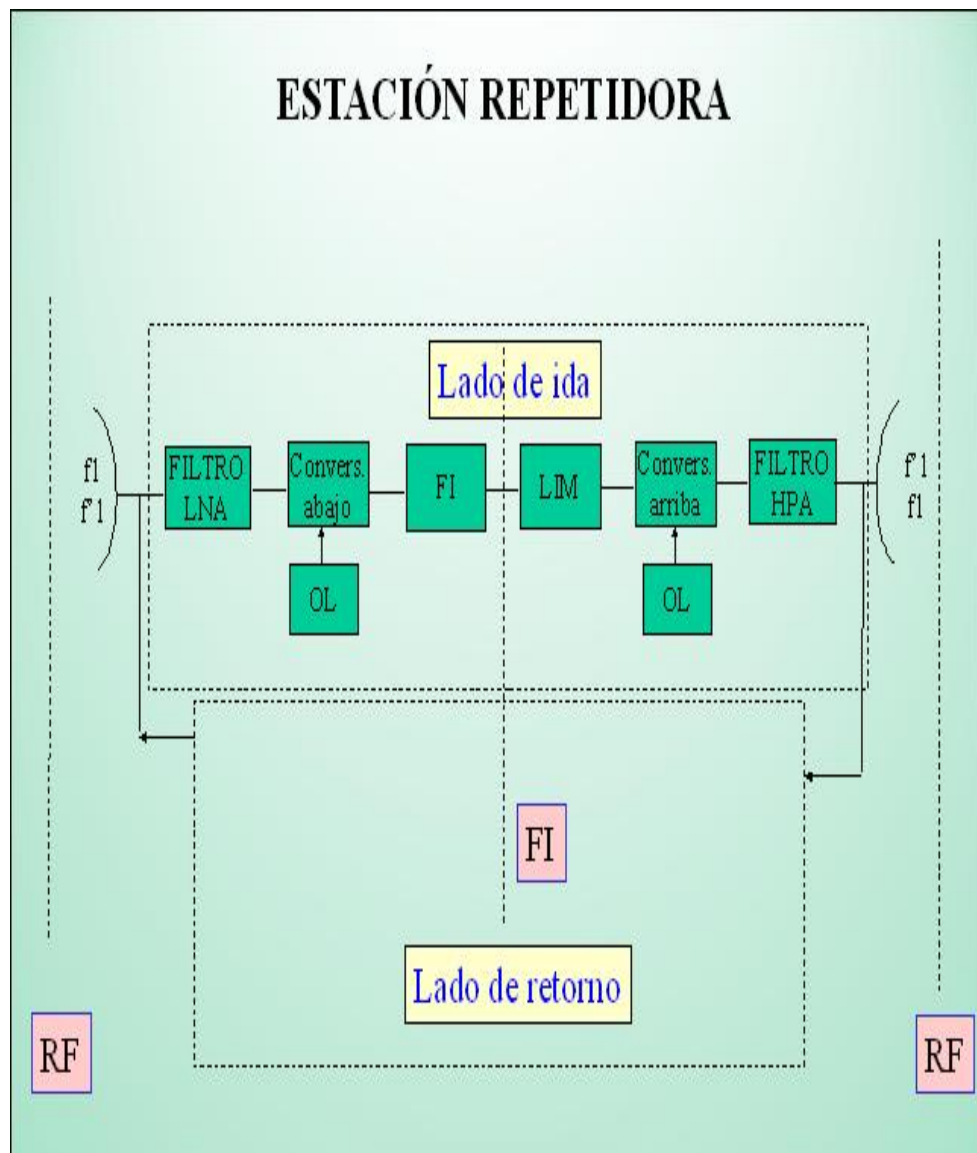


Figura 2: Diagrama de bloques de una estación repetidora.

- Pasivos: Se comportan como espejos que reflejan la señal y se los puede dividir en pasivos convencionales, que son una pantalla reflectora y los pasivos back-back, que están constituidos por dos antenas espalda a espalda. Se los utiliza en ciertos casos para salvar obstáculos aislados y de corta distancia.

ESTACIÓN NODAL

Constituida por dos estaciones terminales adosadas conectadas en banda base. La inserción-extracción de canal puede hacerse a nivel de canal o de alguna estructura múltiplex.

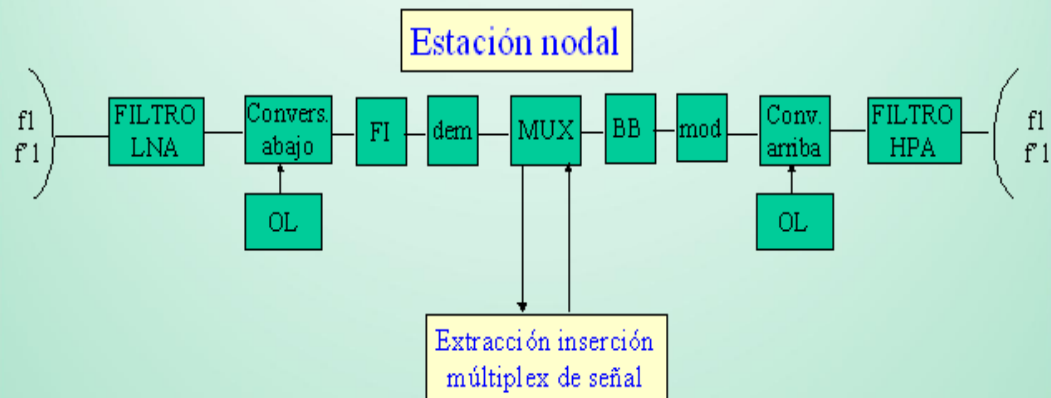


Figura 3: Diagrama de bloques de una estación nodal.

Los factores más importantes que determinan las prestaciones de un sistema fijo de acceso inalámbrico son la buena situación de las antenas, la correcta planificación del enlace radioeléctrico y la elección de un canal libre de interferencias. Sólo con una buena planificación del enlace entre antenas puede conseguirse evitar las interferencias y los desvanecimientos de la señal, alcanzando una alta disponibilidad en el sistema.

La planificación del enlace radioeléctrico de un sistema de radiocomunicaciones comienza con el cálculo del alcance. Para ello se deben conocer la banda de frecuencias, las características climáticas de la zona y las especificaciones técnicas de los equipos de radio: potencia del transmisor, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, tasa de error, disponibilidad, etc. Este cálculo del alcance del sistema constituye una primera estimación teórica que deberá verificarse tras la instalación de los equipos. La utilización de aplicaciones informáticas de simulación con cartografías digitales del terreno y de los edificios constituye una potente herramienta de ayuda en la planificación. Valiéndose de las mismas es posible determinar las mejores localizaciones para

instalar las antenas y estimar su alcance o cobertura, así como los posibles niveles de interferencia que provienen de otros emplazamientos vecinos, especialmente en el caso de sistemas celulares o de acceso radio punto a multipunto.

Otro tipo de factores que también deben tenerse en cuenta al momento de realizar un radioenlace son los atmosféricos y meteorológicos. En los radioenlaces troposféricos se producen atenuaciones de la señal durante su propagación, causadas por la absorción y dispersión en hidrometeoros como la lluvia, la nieve, el granizo o la niebla. Estos efectos son especialmente importantes en el caso de sistemas que trabajan a frecuencias milimétricas. Aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño a frecuencias superiores donde su importancia aumenta rápidamente. La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT-R 838. Dicha atenuación es ligeramente superior para polarización horizontal que para vertical. Este fenómeno producido se debe simplemente a la forma que adquieren las gotas de lluvia por el rozamiento experimentado durante la caída. Para la predicción de la atenuación producida por la lluvia se necesita información sobre las estadísticas de intensidad de precipitación. En la recomendación UIT-R PN.837-1 se proporcionan valores de intensidad de lluvia excedidos durante determinados porcentajes de tiempo y para distintas zonas hidro-meteorológicas mundiales. De esta forma se puede estimar la atenuación y la dispersión relacionada con precipitaciones.

Como se ha visto, el diseño de un radioenlace involucra una gran variedad de cuestiones a tener en cuenta como el emplazamiento, la selección de equipos, el cálculo del balance de potencias, la identificación de obstáculos y posibles interferencias, los fenómenos de atenuación, las pérdidas en el espacio, el desvanecimiento de las señales, etc. Si bien actualmente la existencia de herramientas informáticas de simulación facilita enormemente la tarea, es importante conocer de primera mano todos los aspectos que pueden influir en el funcionamiento del radioenlace. De este modo, durante la fase final de verificación e instalación de los equipos será posible identificar las posibles causas de un malfuncionamiento y arbitrar los mecanismos adecuados para solucionarlo.

Los escenarios en donde la aplicabilidad de los radioenlaces es la indicada y la más efectiva podrían ser los siguientes:

- Backhaul en áreas urbanas y rurales: En el ámbito de las telecomunicaciones, una red de retorno (Backhaul) es la porción de una red jerárquica que comprende los enlaces intermedios entre el núcleo (o Backbone), y las subredes en sus bordes.

Las redes de retorno conectan redes de datos, redes de telefonía celular, y otros tipos de redes de comunicación, además de ser usadas para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.

Un ejemplo de red de retorno, lo constituye un radio enlace que conecta una estación base transceptora con el núcleo, en una red de teléfonos móviles.

En las redes inalámbricas es la parte más importantes de esta, ya que es el Core de la red. Esto nos indica que la red posee una parte esencial (fibra óptica, radios, antenas, etc.) para que pueda realizar las comunicaciones necesarias.

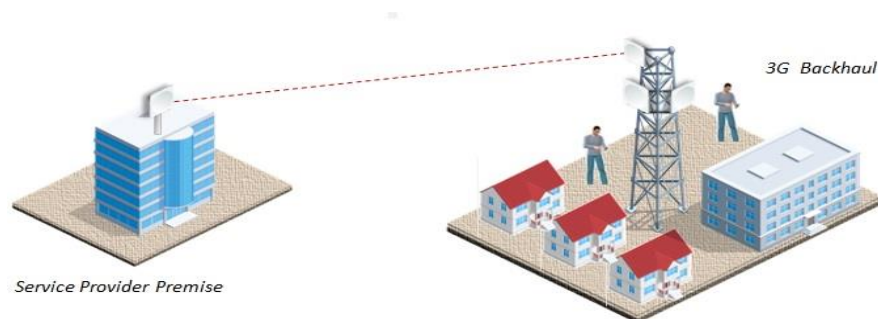


Figura 4: Radioenlace en zonas urbanas y rurales.

- Acceso corporativo de alta capacidad: Permite la transmisión de multiservicios como voz IP, datos, videos, etc.

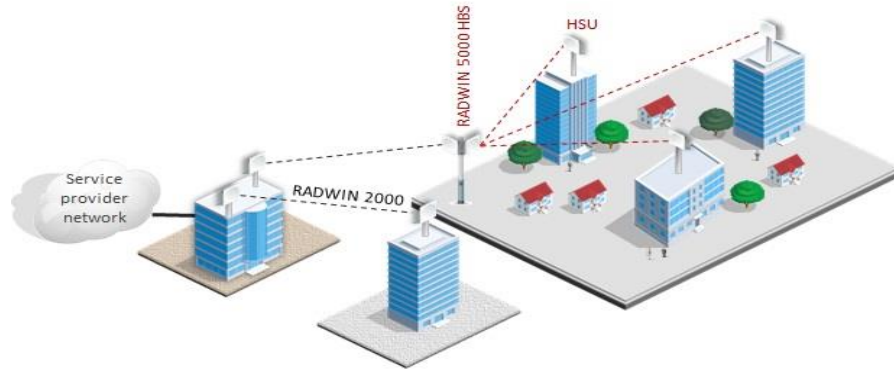


Figura 5: Radioenlace corporativo.

- Conectividad empresarial: Permite la conectividad de sub estaciones con un sistema central, la transmisión de datos tipo SCADA, el control y monitoreo de infraestructura crítica, etc.



Figura 6: Radioenlace empresarial.

- Conectividad de sistemas de seguridad: Permite la implementación de redes híbridas de vigilancia, monitoreo de sitios públicos, control y gestión de tráfico y es aplicable a sistemas en general de seguridad ciudadana.

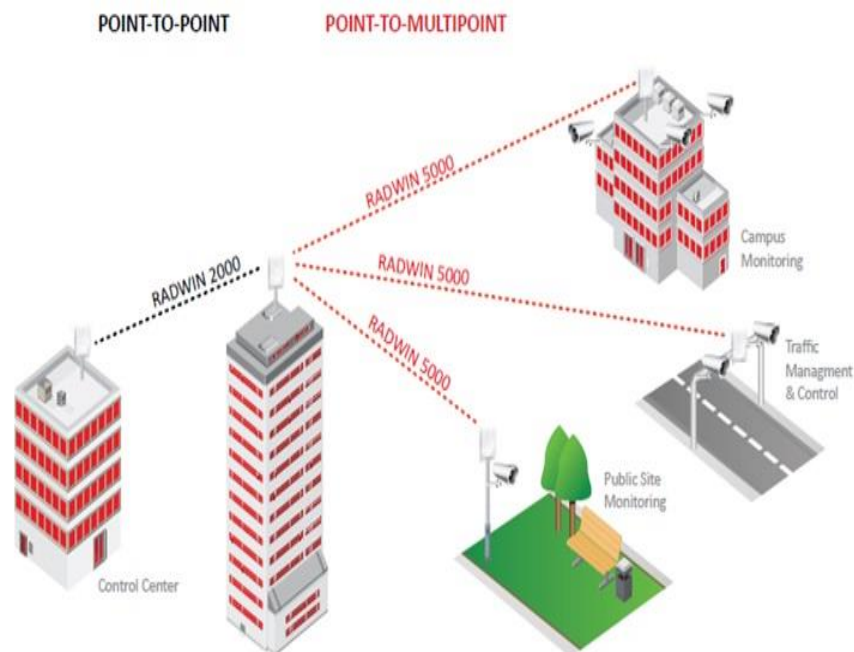


Figura 7: Radioenlace para seguridad.

2.2. Tipos de radioenlaces

2.2.1. Radioenlace terrestre

Los sistemas de radio microondas que usan modulación de frecuencia se conocen ampliamente por proporcionar comunicaciones flexibles, confiables, económicas y de punto a punto, cuando usan la atmosfera terrestre como medio de transmisión. Estos sistemas de microondas son capaces de conducir en forma simultánea desde unos pocos circuitos de voz de banda angosta, hasta miles de circuitos de voz, audio y televisión comercial, todos de alta calidad. Los sistemas de microondas de FM son, casi siempre, el método más económico de proporcionar circuitos de comunicaciones cuando ya no hay cables ni fibras ópticas, o cuando existen duras condiciones de terreno o de clima.

Un radioenlace terrestre provee conectividad entre dos sitios (estaciones terrenas) en línea de vista (Line – of – Sight, LOS) usando equipo de radiofrecuencias de portadora por encima de 1GHz. La forma de onda emitida puede ser analógica (convencionalmente en FM) o digital.

Cuando la distancia entre TX y RX es tan grande que no permite que la señal de RF sea de los niveles adecuados para ser demodulada eficientemente y no es posible incrementar los niveles de potencia, se hace

uso de los repetidores, etapas de relevo de las señales ubicadas entre TX y RX originales. Hay dos tipos de repetidores de microondas:

- Repetidores de banda base: Se refiere a la banda de frecuencias producida por un transductor, tal como un micrófono, un manipulador telegráfico u otro dispositivo generador de señales que no es necesario adaptarlo al medio por el que se va a transmitir.

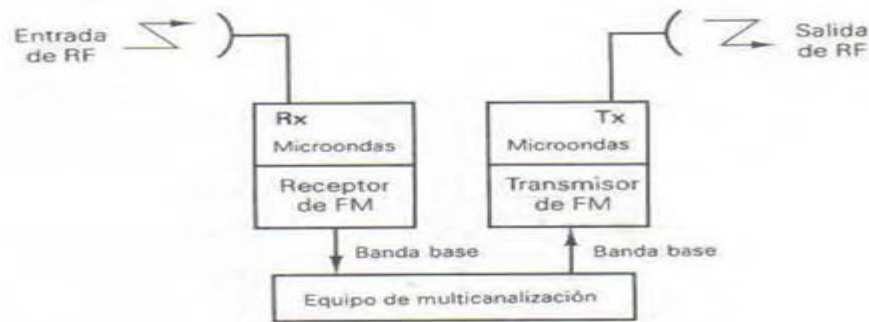


Figura 8: Repetidor de banda base.

- Repetidores de IF: Convierten las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasa-banda) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada.



Figura 9: Repetidor de IF

El diseño de un radioenlace terrestre involucra cuatro pasos básicos:

- Elección del sitio de instalación.
- Relevamiento del perfil del terreno y cálculo de la altura del mástil para la antena.

- Cálculo completo del radio enlace, estudio de la trayectoria del mismo y los efectos a los que se encuentra expuesto.
- Prueba posterior a la instalación del radio enlace, y su posterior puesta en servicio con tráfico real.



Figura 10: Radioenlace terrestre.

2.2.2. Radioenlace satelital

Un enlace satelital básicamente se conforma por tres etapas bastante sencillas. Los enlaces de subida y de bajada, que sirven como las dos primeras etapas y que son donde están ubicadas las estaciones terrestres, así como una tercera que es la etapa del espacio, donde la señal de subida pasa por transpondedor del satélite a usar y esta señal es luego regresada a la tierra a una frecuencia menor con la cual se transmitió.

Una figura que ilustra de forma básica como funciona un enlace satelital es la siguiente:

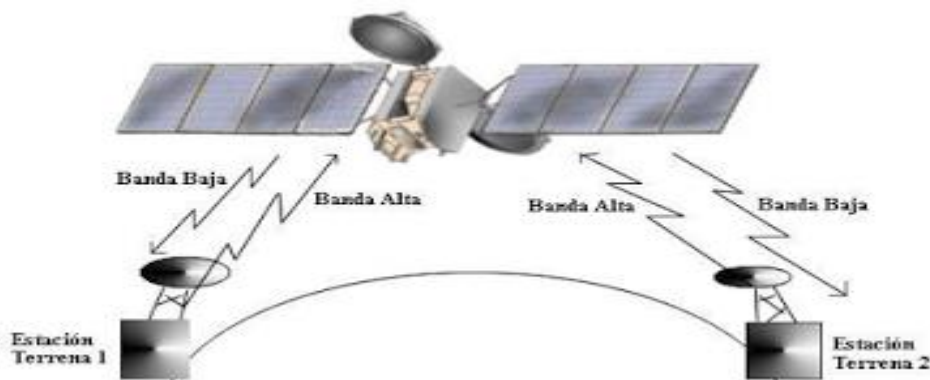


Figura 11: Radioenlace satelital.

Todo enlace satelital, por su funcionamiento, requiere de estaciones terrenas para establecer la transmisión y la recepción de la señal, que son las dos primeras etapas mencionadas anteriormente. Estas estaciones básicamente se componen de cuatro segmentos para la transmisión, el primero sería un modulador de FI, luego un convertidor de FI a microondas RF, seguido de un amplificador de alta potencia (HPA), y por último la antena en la estación transmisora. Y en el caso de la recepción, sería básicamente un demodulador de FI en su primera etapa, un convertidor de RF a IF como segunda etapa, un amplificador de bajo ruido (LNA), y como en el caso de la transmisión, la última etapa en la recepción sería igual, la antena ubicada en la estación terrena.

Este proceso puede ser explicado en una imagen sencilla como la siguiente:

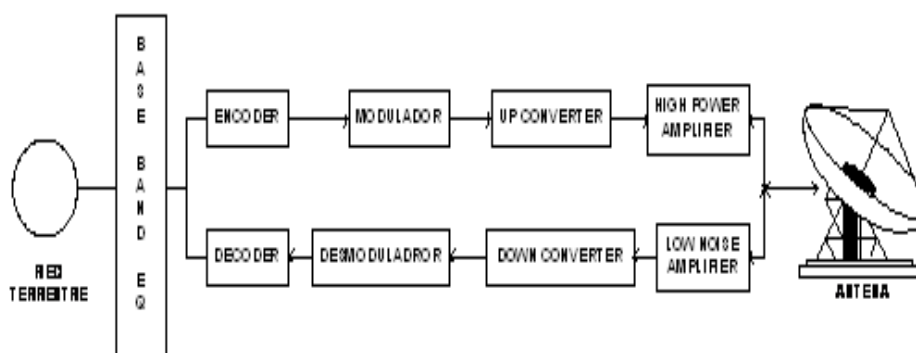


Figura 12: Funcionamiento del Radioenlace satelital.

Para el enlace de subida, este consiste simplemente en modular una señal de FI en banda base, a una señal intermedia que es modulada en FM, PSK y QAM, seguida de un convertidor elevador (que no es más que un mezclador de señal y un filtro pasa bandas, que simplemente convierte la señal, como su nombre lo dice, de IF a RF). Luego la señal pasa por un amplificador de alta potencia, (High Power Amplifier, HPA) el cual le da la potencia necesaria para que esta señal pueda llegar sin problemas hasta el satélite a usar.

En el caso del enlace de bajada, se aplica básicamente el proceso inverso para reconstruir la señal, salvo por unas modificaciones. En primer lugar, el receptor en nuestra estación terrena contiene un filtro BFP que limita la potencia de entrada que recibe el LNA, una vez amplificada la señal en bajo ruido, esta es transformada de RF a IF por medio del convertidor descendente, y luego pasa a ser demodulada y entregada en banda base.

En la etapa del espacio, tenemos que la señal pasa por un transpondedor, antes de ser enviada de vuelta a la tierra. Este transpondedor está construido por un filtro pasa bandas (BFP) que se encarga de eliminar o limpiar el ruido que pueda adquirir la señal en su trayectoria de subida. Otro proceso importante que sucede en esta etapa, es la selección de canal, ya que cada canal satelital requiere de un transpondedor por separado.

Luego de este proceso, la señal pasa por un amplificador de bajo ruido (LNA) y un desplazador de frecuencia que tiene como función convertir la frecuencia de banda alta de subida, a banda baja de salida, y luego pasa por un amplificador de baja potencia, el cual simplemente amplifica la señal de RF que será utilizada por el enlace de bajada. En pocas palabras, es un proceso de limpieza y mantenimiento de la señal antes de ser regresada a la estación terrena de recepción.

Este proceso lo podemos ilustrar por medio de la siguiente imagen:

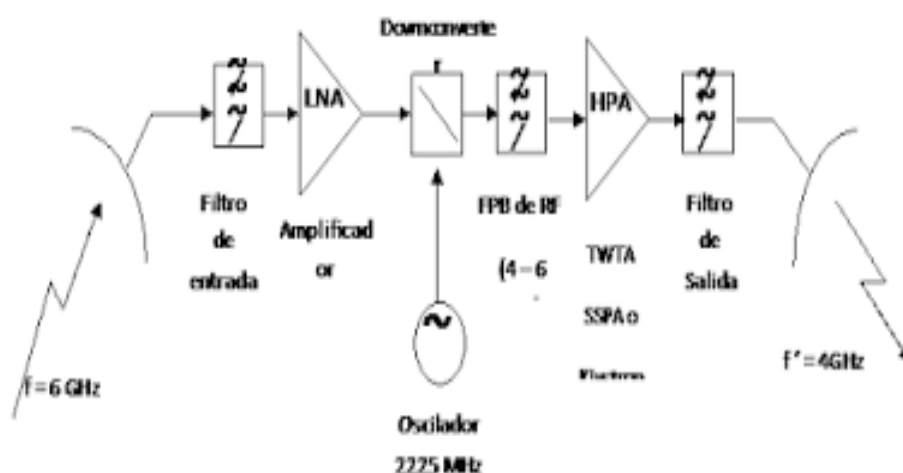


Figura 13: Transmisión y recepción de la señal del Radioenlace satelital.

2.2.3. Radioenlace por guía de onda

La guía de onda es otro medio de comunicación también muy usado y es cualquier estructura física que guía una onda electromagnética. Dependiendo de la frecuencia a utilizar pueden ser construidas con materiales dieléctricos o conductores. Básicamente son del tipo circular, rectangular o elíptica, el cual opera en el rango de frecuencias comúnmente llamadas como microondas (en el orden de GHz). Su construcción es de material metálico por lo que no se puede decir que sea un cable. El ancho de banda es extremadamente grande y es usada principalmente cuando se requiere bajas perdidas en la señal bajo condiciones de muy alta potencia como el caso desde una antena de microondas al receptor/transmisor de radio frecuencia.

La transmisión de señales por guías de onda reduce la disipación de energía, es por ello que se utilizan en las frecuencias denominadas de microondas con el mismo propósito que las líneas de transmisión en frecuencias más bajas, ya que se presentan poca atenuación para el manejo de señales de alta frecuencia.

En las guías de onda, los campos eléctricos y los campos magnéticos están confinados en el espacio que se encuentra en su interior, de este modo no hay pérdidas de potencia por radiación y las pérdidas en el dieléctrico son muy bajas debido a que suele ser aire. Este sistema evita que existan interferencias en el campo por otros objetos, al contrario de lo que ocurría en los sistemas de transmisión abiertos.

Las aplicaciones típicas de este medio están en las centrales telefónicas para bajar/subir señales provenientes de antenas de satélite o estaciones terrenas de microondas.

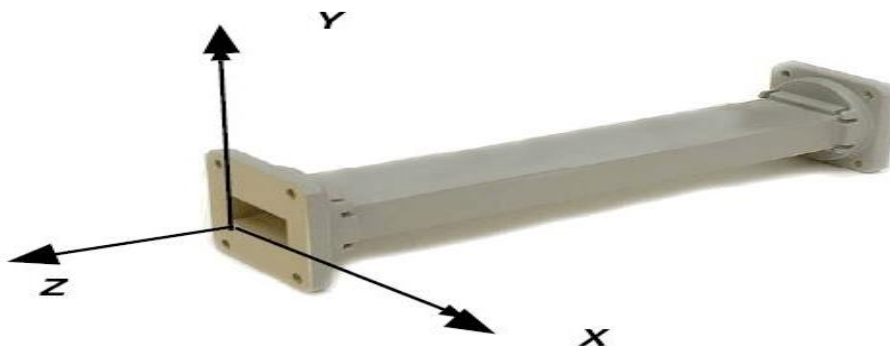


Figura 14: Guiador rectangular de onda.

2.3. Técnicas de diversidad de un radioenlace [1]

Se utilizan para disminuir los efectos de desvanecimientos por multitrayectoria. El objetivo de utilizar la técnica de diversidad es aumentar la confiabilidad del sistema, así como también aumentar su disponibilidad.

Los tipos de diversidad son: de espacio, de frecuencia y de polarización.

2.3.1. Diversidad de espacio

Se denomina diversidad de espacio a la radiorrecepción mediante dos o más antenas que generalmente se colocan en una misma torre, en ambos extremos del trayecto, con una separación equivalente a varias longitudes de onda. La información se envía en una sola frecuencia pero se recibe por dos o más trayectos distintos. Las señales recibidas se alimentan a receptores individuales, los cuales suministran una señal combinada de salida esencialmente constante a pesar del desvanecimiento que pueda ocurrir durante la propagación.

Por lo general en los sistemas por diversidad de espacio se transmite una misma señal a dos antenas receptoras instaladas con cierta separación vertical. Las dos salidas de los receptores se combinan en la estación.

El sistema por diversidad de espacio funciona de acuerdo con el principio de que las dos componentes de una misma señal que corren dos caminos distintos no tendrán los mismos puntos de interferencia. Una misma longitud de onda sufre diferentes grados de interferencia. Una misma longitud de onda sufre diferentes grados de interferencia en dos puntos espaciados verticalmente por que dicha onda llega a las antenas por dos caminos distintos.

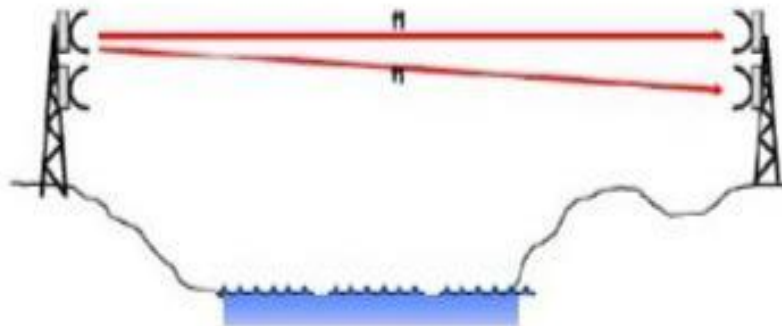


Figura 15: Diversidad de espacio.

2.3.2. Diversidad de frecuencia

En la diversidad por frecuencia, solo consiste en modular dos portadoras de RF distintas con la misma información de IF (Frecuencias Intermedias) y transmitir. Entonces ambas señales de RF viajan a un destino dado. En el destino, se demodulan ambas portadoras y la que produzca la mejor señal de IF de mejor calidad, es la que se usa.

Cuando se usa diversidad de frecuencia, la información se transmite en más de una portadora, de tal forma que señales con una separación de frecuencia mayor que determinado valor no experimenten el mismo desvanecimiento, siendo la separación en frecuencia necesaria para que los canales estén parcial o totalmente decorrelados una función del ancho de banda de coherencia del canal. Este valor puede corresponder a una fracción importante del ancho de banda total utilizado, y por lo tanto, esta técnica tiene la desventaja de necesitar generalmente un ancho de banda significativamente mayor, con un número igual de receptores que de canales de diversidad. Sin embargo, la diversidad en frecuencia se emplea usualmente en enlaces por línea de vista que usan FDM (Multiplexación por División de Frecuencia) y para rutas críticas.

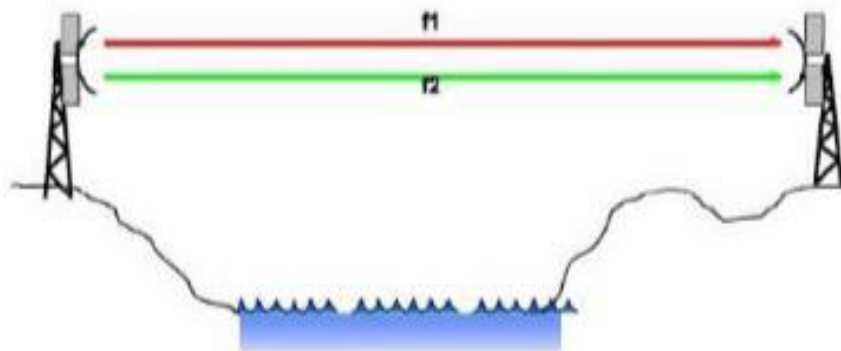


Figura 16: Diversidad de frecuencia.

2.3.3. Diversidad de polarización

En este método dos señales procedentes del radiotransmisor se envían simultáneamente por dos antenas separadas, una con polarización vertical y la otra horizontal. La diversidad de polarización resulta útil para la transmisión por onda indirecta en la parte baja del espectro de frecuencias.

En cambio, este método no da resultados en la transmisión de microondas por onda espacial debido a que generalmente ambas señales polarizadas se desvanecen al mismo tiempo.

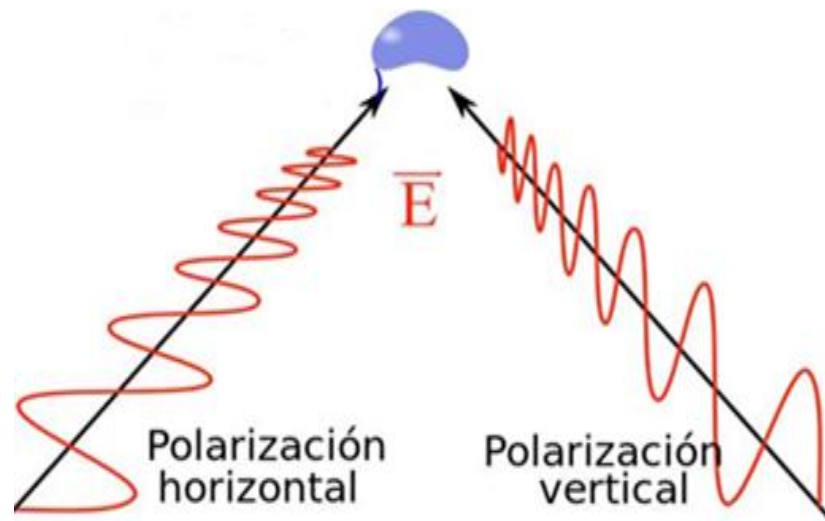


Figura 17: Diversidad de polarización.

2.4. Sistema redundante y de alta disponibilidad

El concepto de redundancia, junto con el de alta disponibilidad, comprende la capacidad de un sistema de comunicaciones para detectar un fallo en la red de la manera más rápida posible y que, a la vez, sea capaz de recuperarse del problema de forma eficiente y efectiva, afectando lo menos posible al servicio.

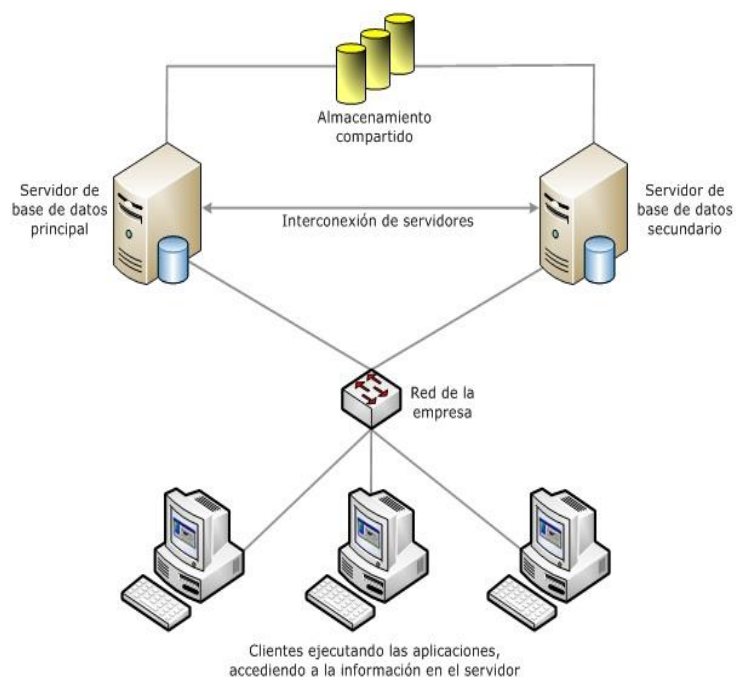


Figura 18: Estructura de un sistema redundante y de alta disponibilidad.

La redundancia hace referencia a nodos completos que están replicados o componentes de éstos, así como caminos u otros elementos de la red que están repetidos y que una de sus funciones principales es ser utilizados en caso de que haya una caída del sistema. Ligado a esto, la alta disponibilidad consiste en la capacidad del sistema para ofrecer un servicio activo durante un tanto por ciento de un tiempo determinado o a la capacidad de recuperación del mismo en caso de producirse un fallo en la red. Cuando se habla de “caída del sistema” puede hacer referencia tanto a un equipo que ha dejado de funcionar, como un cable que ha sido cortado o desconectado u otras situaciones que impliquen que la red deje de funcionar. En casos como estos, hace falta que el sistema detecte el fallo del mismo y que, además, reaccione de manera rápida y eficiente en la búsqueda de una solución a la caída. Es importante tener en cuenta una serie de factores en el diseño de una red.

En el ámbito empresarial, según el tipo de tráfico con el que trabaja la empresa y la distancia geográfica entre los diferentes nodos marcan los requerimientos que tendrá la propia red a la hora de fijar un tiempo de recuperación mínimo. Concretamente, se hace una diferenciación por categorías según las aplicaciones.

La primera categoría incluye las redes y tráficos los cuales no requieren un gran rendimiento o unas métricas críticas. Las redes que se contemplan son redes LAN de hogares y PYMES. Los tipos de tráfico que se incluyen son los siguientes: Web, intercambio de archivos, emails, vídeo no-interactivo y streaming de audio. El hecho de que se incluya streaming sin interacción ayuda a tener unos parámetros de funcionamiento más holgados en caso de que ocurra algún problema en los nodos intermedios, sin producir al usuario una mala “quality of experiencia” (QoE), es decir, sin que se vea afectado en el uso de estas aplicaciones de streaming no interactivo. Los tiempos de recuperación críticos son del orden de segundos.

Las redes o tráficos que se incluyen en la segunda categoría son streaming interactivo y el Core de una red metropolitana (MAN). La diferencia principal entre el streaming interactivo y de la categoría anterior

es la necesidad de un tráfico bidireccional que implica la interactividad, requiere una demanda de tiempo de respuesta más rápida en ambas direcciones. Mientras que en las redes Core MEN, el tiempo de recuperación debe ser menor de 50 ms debido al uso de la fibra óptica. Los tiempos críticos de recuperación son del orden de centenares de milisegundos.

La tercera categoría es la que tiene unos requerimientos más críticos de las redes Ethernet. Estas aplicaciones son utilizadas en el control de precisión de la maquinaria industrial y fábricas de automoción, siendo crítico debido a que debe ofrecer un entorno de trabajo seguro ámbitos concretos en redes eléctricas, como por ejemplo el tráfico de control de subestaciones. Según la aplicación, hay nodos en producción que están sincronizados del orden de microsegundos a milisegundos. Esto se traduce en unas limitaciones en el tiempo de detección de un fallo en la red y el tiempo de recuperación.

En base a estas necesidades, se han desarrollado diferentes protocolos para aportar redundancia al sistema y así mejorar, además, la capacidad de recuperación para poder cumplir con los requerimientos. Por ejemplo, la propuesta de TRILL como sustituto de Spanning Tree o los diferentes estándares de la 62439 que ha especificado la International Electrotechnical Commission (IEC), como por ejemplo el Parallel Redundancy Protocol (PRP) o High-availability Seamless Redundancy (HSR) que son protocolos que tienen un tiempo de recuperación de 0 ms aunque utilicen de manera ineficiente los recursos de la red.

Parallel Redundancy Protocol (PRP)

La principal característica de este protocolo es la posibilidad, mediante el uso de dos redes paralelas, de lograr tiempos de recuperación de 0 segundos en caso de producirse un fallo en la red. Un posible esquema de redes PRP es el siguiente:

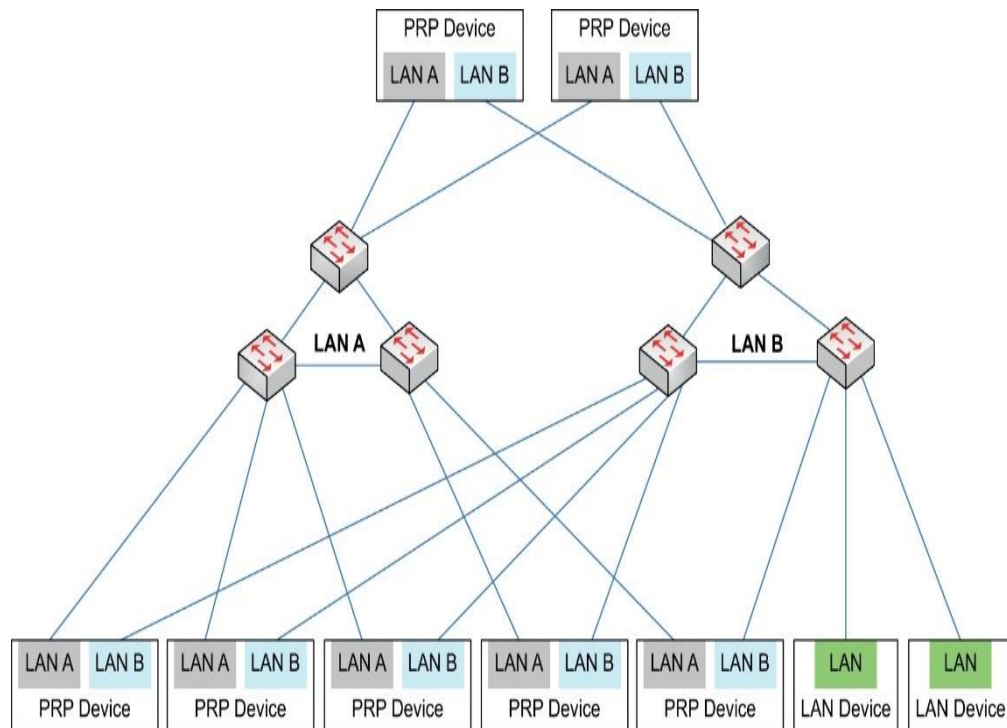


Figura 19: Parallel Redundancy Protocol (PRP).

Los diferentes nodos que se presentan son:

- Doubly Attached Node with *PRP* (*DANP*): Cada nodo *DANP* está unido a dos redes LAN independientes de topología similar. Las redes están totalmente separadas, asumiendo que son independientes en cuanto a producirse un fallo en ellas. Además, operan en paralelo, lo cual aporta una capacidad de recuperación sin necesidad de detección (bumpless recovery) y permitiendo comprobar la redundancia constantemente.
- Singly Attached Node (*SAN*): Son nodos que se conectan a una sola red, por lo que solo pueden comunicarse con otro *SAN* conectado a la misma red.
- Red Box: Son equipos que permiten a los *SAN* comportarse como *DANP*.

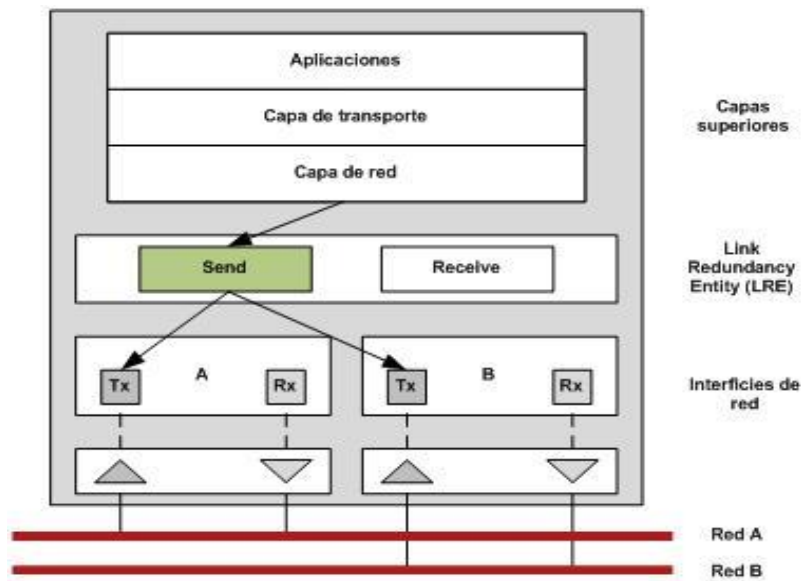


Figura 20: Tipos de nodos.

El funcionamiento se basa principalmente en el envío y recepción de paquetes duplicados. Un nodo DANP, o nodo PRP, envía la información a transmitir por las dos interfaces que dispone. Estas interfaces tendrán la misma dirección IP y la misma dirección MAC, es decir, lógicamente comparten direcciones de nivel 2 y nivel 3. Al enviarse los paquetes por redes diferentes e independientes, no existirá conflicto de direcciones IP o de direcciones MAC.

Cuando el receptor recibe un primer paquete, comprueba si se trata de un paquete PRP candidato a ser duplicado, esto lo realiza mediante un proceso de identificación de paquetes que se explicará en la siguiente entrega de Redundancia y alta disponibilidad.

En cuanto al tiempo de recuperación de 0 milisegundos, esto es debido a que al estar totalmente duplicada la red, si se produce un fallo en una de ellas y en ese momento se genera una señal de alarma en alguno de los equipos conectados a un nodo PRP, no necesita detectar el error y reconfigurar la red ya que envía la alarma por ambos caminos, estén o no dañados.

La principal desventaja de este protocolo es el alto coste que supone ya que es duplicar en su totalidad una red de comunicaciones, además del también elevado coste que supondría aumentar la escalabilidad del sistema.

En conclusión, el Parallel Redundancy Protocol consiste en un protocolo que basa su funcionamiento y su éxito en lograr unos tiempos de recuperación de 0 milisegundos en la utilización de dos redes idénticas totalmente disjuntas entre origen y destino. Los equipos dispondrán de dos interfaces que forman parte del proceso PRP las cuales se conectan a cada una de las redes desplegadas.

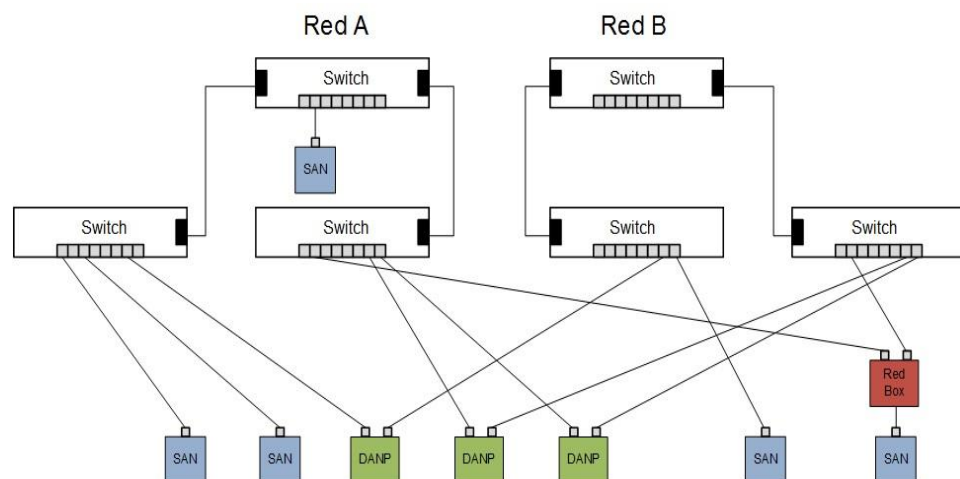


Figura 21: funcionamiento del PPR.

Existen dos modos de gestión de paquetes duplicados en PRP. El primer modo acepta todos los paquetes y los envía a capas superiores, mientras que el segundo modo intenta filtrar los paquetes duplicados que recibe.

- **Duplicate Accept:** El LRE (Link Redundancy Entity) puede enviar paquetes a las capas superiores siempre y cuando esté diseñado para poder gestionarlo. En el caso de recibir un duplicado, existen protocolos los cuales no los permiten (TCP) o protocolos los cuales pueden generar duplicidades en procesos de reconfiguración (Spanning-Tree), provocando bucles en la red. El protocolo PRP permite la duplicidad, con el coste que esto supone en cuanto a ancho de banda y uso de procesador. En este modo de configuración se aumenta la carga del procesador debido a que se interrumpe dos veces ya que recibe el mismo paquete en dos ocasiones casi consecutivas. Se utiliza en sistemas en los cuales no se puede gestionar los bytes extra que añade el otro modo de funcionamiento, el cual descarta el duplicado.[6]

- Duplicate Discard: Este modo de trabajo descarta los paquetes duplicados, sin ser obligatorio el descarte de todos ya que se trata de un sistema basado en best-effort. Esto reduce la carga del procesador, a la vez que mejora la cobertura de detección de errores y la supervisión de la red. Existen diferentes métodos para detectar duplicidades sin necesidad de una cabecera especial, almacenando frames y comparándolos posteriormente o mediante la comparación de checksum. Estas soluciones requieren memoria y tiempo de procesador.[6]

Según los requerimientos de la red, de los equipos que se dispongan y los protocolos con los que se trabaje, se utilizará uno u otro.

2.5. SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS

Las fugas de sustancias peligrosas constituyen uno de los accidentes más frecuente en las instalaciones químicas de proceso, y que suelen generar daños graves tanto a los propios equipos como a las personas expuestas. A su vez otra repercusión importante previsible es la interrupción del proceso productivo incluyendo en algunos casos el vaciado de la instalación.



Figura 22: Fuga de petróleo.

Las fugas suelen generarse principalmente en las conducciones. Dentro de éstas los puntos más vulnerables son las uniones entre diferentes tramos y las conexiones a los equipos. Las causas de tales fugas son múltiples pero en su mayoría se deben a fallos de proyecto. Es de resaltar que, en los equipos, las

bombas de impulsión de fluidos son generadoras de muchos accidentes de esta forma.

Las fugas que aparecen pueden ser de varios tipos en función de las características y estado del fluido en cuestión.

- Las fugas en fase líquida son extremadamente peligrosas en el caso de gases licuados, debido a la gran cantidad de masa que se va a producir en un breve plazo de tiempo.
- Las fugas de líquidos corrosivos provocan proyecciones que pueden incidir sobre las personas situadas en áreas próximas. Las fugas de sustancias inflamables generarán atmósferas peligrosas capaces de arder dentro del rango de inflamabilidad al encontrar cualquier foco de ignición en el entorno.
- Las fugas de sustancias tóxicas volátiles se difundirán en el medio ambiente pudiendo afectara personas no necesariamente próximas a la instalación. Por otra parte las fugas en la fase líquida si no existen medios de control podrán contaminar a través de la red general de desagües al suelo y cauces fluviales.

Todas estas situaciones de graves consecuencias están consideradas como causa de accidente mayor y en tal sentido la reglamentación comunitaria y en particular la española ha desarrollado disposiciones para prevenirlas.

A continuación, se describen las diferentes cuestiones que se deben tener en cuenta para un chequeo previo cuando se quiere realizar un proyecto que puede ser susceptible a fugas:

2.5.1. SEGURIDAD INTRÍNSECA EN EL PROYECTO

2.5.1.1 Diseño de tuberías: Uno de los aspectos iniciales clave es el diseño de la red de tuberías y las condiciones del ámbito físico en el que se encuentran.

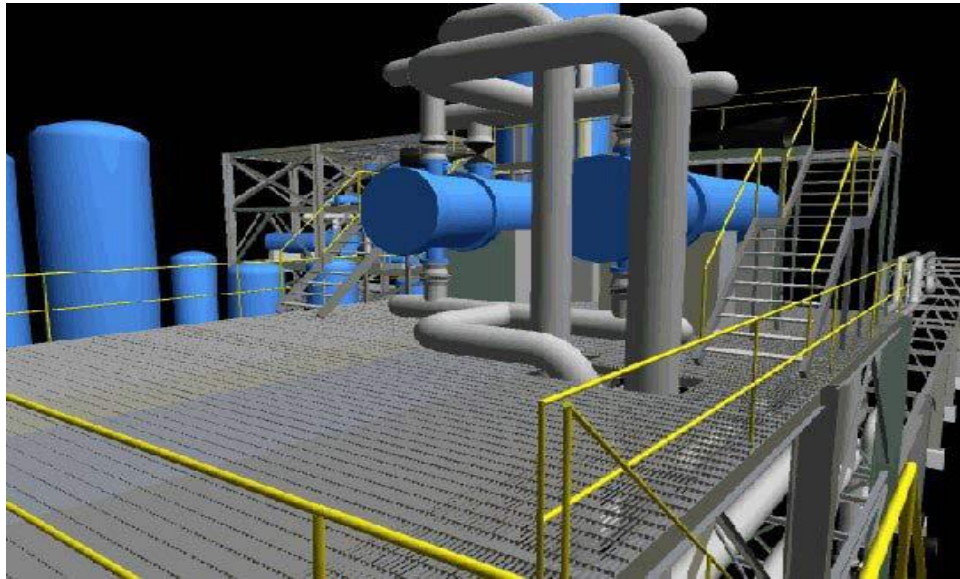


Figura 23: Diseño de tuberías con Software.

Un principio básico consiste en lograr que los puntos de conexión sean los mínimos posibles, en especial para recintos interiores y tratarse de sustancias inflamables y tóxicas. Por otra parte hay que considerar la necesidad de dividir las líneas de tuberías en tramos de forma que se faciliten los trabajos diversos a realizar sobre estas.

Es importante aplicar criterios de racionalización en el entramado de tuberías y en la localización de diferentes elementos de control y de seguridad con la finalidad de facilitar los accesos a puntos en los que es preciso intervenir periódica u ocasionalmente. En tal sentido es necesario considerar los medios para acceder a los diferentes puntos de posible intervención (escaleras de servicio, pasarelas y plataformas en altura).

Es conveniente procurar el agrupamiento de los elementos de control de fluidos. Las tuberías flexibles y especialmente las conexiones a las instalaciones fijas, pueden estar sujetas a torceduras, posiciones forzadas, etc. que limitan su resistencia y constituyen un factor de riesgo ante fugas. En tal sentido es recomendable sustituirlas por tuberías fijas siempre que sea posible. Cuando su uso sea indispensable debería disponerse al menos de codos protectores para facilitar la debida angulación en las conexiones y sistemas de recogida y almacenaje seguros.

2.5.1.2 Aislamiento por distancia: Es importante lograr un distanciamiento de seguridad entre los puntos de posibles emisiones y las personas. Tal medida es fundamental en industrias muy peligrosas que deberían mantenerse suficientemente alejadas de la población y de ámbitos urbanos.

En los ámbitos laborales en que el aislamiento por distancia no pueda lograrse sería necesario en el caso de fugas muy tóxicas, disponer de recintos de seguridad en los que el personal pueda refugiarse, al mismo tiempo desde tales lugares poder controlar la instalación.

2.5.1.3 Aislamiento de la instalación afectada: Al objeto de minimizar la cantidad de sustancia fugada es necesario disponer de dispositivos de aislamiento por tramos. Con ello se puede lograr reducir sustancialmente la fuga, siempre que ésta pueda ser detectada con celeridad y el accionamiento de las correspondientes válvulas pueda efectuarse, preferiblemente por control remoto. En su defecto debe disponerse de medios seguros de intervención, tales como una clara identificación de la válvula y su posición de cierre teniendo en cuenta que el empleo de equipos respiratorios autónomos con protección facial puede limitar la visibilidad. Tal medida requiere especial cuidado en el caso de grandes stocks de materias peligrosas.

2.5.1.4 Almacenamiento mínimo: El principio de seguridad de limitar las cantidades de sustancias peligrosas almacenadas en los lugares de trabajo a lo estrictamente necesario, debería ser respetado siempre y especialmente en el caso particular de que la posible fuga fuese de difícil control. También ello incumbe a los almacenamientos de productos intermedios.

2.5.1.5 Control de la presión de los recipientes: De acuerdo con los códigos correspondientes, todo recipiente o instalación a presión deberá ser capaz de soportar la presión máxima alcanzable en las condiciones de funcionamiento. Su presión de diseño será como mínimo un 10% superior a la presión máxima. Complementariamente la instalación dispondrá de los elementos de seguridad correspondientes frente a presiones excesivas.

En determinadas situaciones que es previsible la generación de reacciones químicas incontroladas tales como polimerizaciones y descomposiciones o cualquier forma de generación de gas, vapor o calor, que puedan provocar sobrepresiones considerables, es posible diseñar la instalación para ser capaz de soportarlas. Tal medida es viable en instalaciones de alto riesgo y cuando sus dimensiones sean reducidas.

2.5.1.6 Sustitución de sustancias: Es preciso considerar la posibilidad de sustituir las sustancias peligrosas por otras menos nocivas si los resultados del proceso en cuestión son similares.

2.5.1.7 Refrigeración: La temperatura es un factor de riesgo que contribuye al aumento de la emisión y evaporación. En tal sentido reduciendo la temperatura de las sustancias que intervienen en el proceso, particularmente los gases licuados, se reduce significativamente la cantidad de vapor producido por una fuga.

En procesos químicos exotérmicos, la refrigeración constituye una medida básica de seguridad. Y por ello, requiere dimensionarla y dotarla de los medios necesarios para garantizar en todo momento su funcionalidad.

2.5.1.8 Juntas de estanqueidad: Para asegurar la debida estanqueidad de las diferentes conexiones se deberían seleccionar las juntas adecuadas. El tipo de junta y el material de que esté constituida estará en función del fluido, de las condiciones en que éste se encuentra y de las características propias de la instalación. También es importante considerar la conveniencia de sustituir las juntas cada vez que se efectúe una intervención por mantenimiento regular o accidental. Otro aspecto relevante es el relativo a la forma e intensidad de apriete de la juntas, que podrían verse dañadas de no proceder correctamente.



Figura 24: Junta de estanqueidad.

2.5.2. CONDICIONES DE PROCESO EN EL PROYECTO

2.5.2.1 Selección de operabilidad del proceso: La seguridad global del proceso depende de la consideración de los peligros potenciales de las primeras materias, productos intermedios y productos finales y de las condiciones que tales sustancias se encuentran en el proceso. La presión, la temperatura, el flujo másico, el tipo de proceso continuo y discontinuo y el estado de las sustancias (fase gas o líquido), determinan la peligrosidad del propio proceso. De ahí la importancia de poder seleccionar procesos y condiciones lo menos desfavorables posibles ante fugas.

En muchos casos, empleando condiciones suaves en el proceso tales como presión y temperatura cercanos a los ambientales y caudales bajos el peligro global disminuye. El empleo de catalizadores puede compensar la consecuente disminución de la velocidad de reacción en condiciones de proceso menos duras.

2.5.2.2 Proceso continuo/discontinuo: Los procesos discontinuos ofrecen un mayor riesgo que los procesos continuos debido a la mayor incidencia del error humano. Por su parte los procesos continuos, con la ayuda de sistemas informatizados, permiten una mayor automatización y control de sus variables, llegando a conseguirse el autocontrol de tal forma que al producirse ciertas alteraciones, el sistema además de informarnos, conduce el proceso a condición segura.

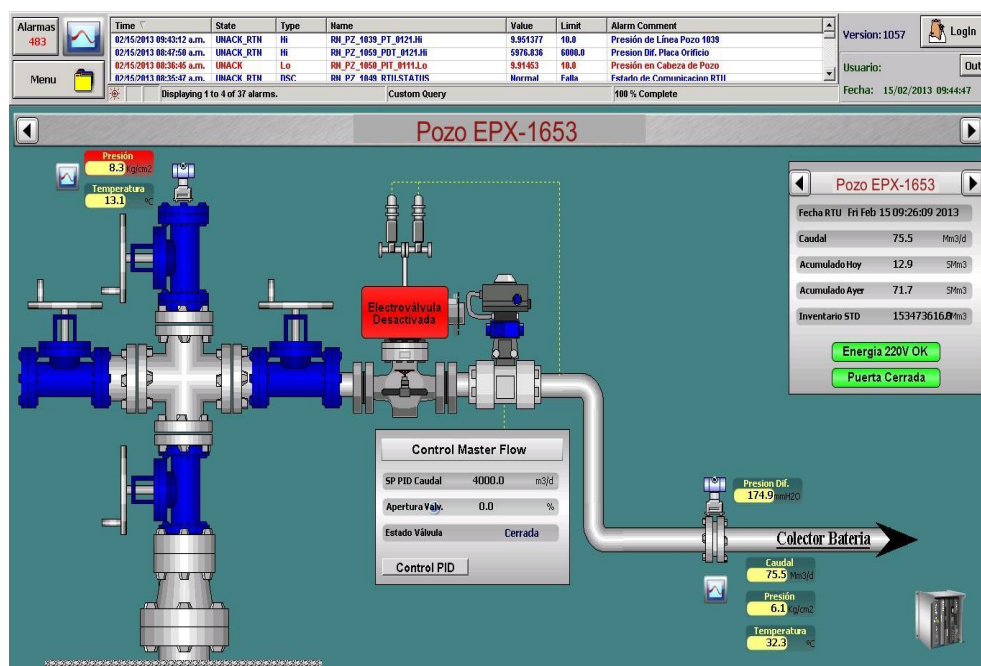


Figura 25: Control de válvulas con SCADA.

2.5.2.3 Dilución: Usando soluciones acuosas se reduce la concentración del producto y consecuentemente su presión de vapor y su volatilidad. Una buena ventilación forzada podrá contribuir también en disminuir la concentración de una sustancia tóxica o inflamable para evitar que se alcancen concentraciones peligrosas.

2.5.2.4 Sistemas de seguridad frente a sobrepresiones: En los sistemas de seguridad son fundamentalmente las válvulas de seguridad y alivio de presiones y los discos de ruptura. Las primeras están concebidas para abrirse liberando el exceso de presión del recipiente o aparato a presión y cerrándose cuando la presión disminuye por debajo de la presión de disparo. Requieren estar diseñadas para liberar un determinado flujo másico a su correspondiente presión de tarado.

En cambio los discos de ruptura que tienen una función complementaria a las válvulas de alivio de presiones, están concebidos para romperse al sobrepasar una determinada presión de tarado, liberando totalmente la sobrepresión del interior sin que la instalación que protege quede dañada.

Debido a la frecuente apertura de las válvulas de alivio de presiones por las pruebas periódicas de sobrepresión y los eventuales aumentos de presión generados en el propio proceso, es necesario considerar el comportamiento de tales escapes, siendo conveniente en el caso de tratarse de sustancias inflamables o tóxicas, canalizarlas a puntos controlados para su eliminación o neutralización. Cabe destacar que las tuberías deberían estar protegidas frente a sobrepresiones. Especial precaución debe tenerse cuando pueda quedar retenido líquido o gas licuado en un tramo de tubería, que ante motivos diversos genere una sobrepresión capaz de romper la tubería, si no se tiene la correspondiente válvula de alivio.

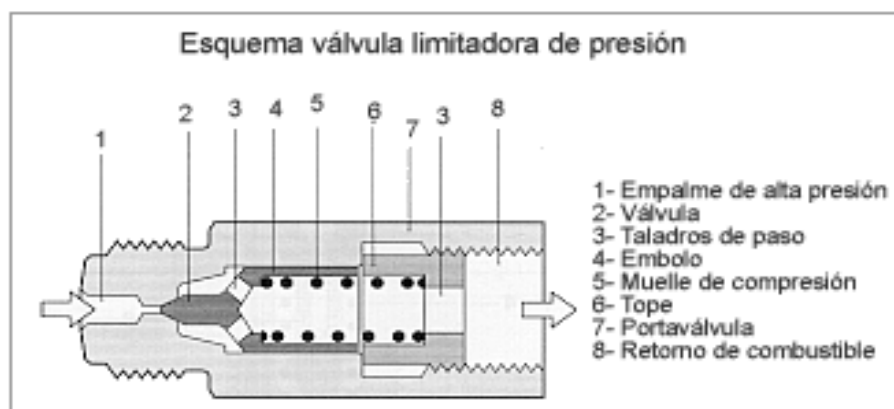


Figura 26: Válvula limitadora de presión.

2.5.2.5 Medidas para el control y neutralización de fugas: Una vez la fuga se ha producido es necesario actuar con los medios que permitan eliminar la fuga en el punto de emisión mediante sistemas de taponamiento u obturación. A pesar de ello, ante fugas de determinado tamaño, tales sistemas resultan insuficientes y es preciso recurrir a otro tipo de medidas que básicamente son:

- Disposición de tanques especiales vacíos para la transferencia del fluido desde la instalación afectada. Dichos tanques deben tener una capacidad equivalente a la del recipiente de mayor capacidad. Dicha transferencia debería poderse realizar a través de instalación fija y control a distancia.
- Mediante sistemas de absorción de líquido, gas o vapor por un proceso de flujos a contracorriente se produce la neutralización ya sea por reacción química o solubilización del escape. Ello requiere del análisis preciso del tipo de líquido a emplear así como de su caudal necesario para ser capaz de la neutralización. Este sistema está especialmente indicado para fugas de gases tóxicos. Las fugas de gases inflamables son mayoritariamente controladas por sistemas de canalización a una antorcha. Generalmente el sistema de incineración es el más comúnmente empleado para la eliminación de gases y vapores inflamables y determinados tipos de derrames de líquidos combustibles. También las fugas de vapores y gases orgánicos podrían ser controladas mediante sistemas de adsorción sólido-gas o vapor en el que un producto sólido poroso es capaz de retener hasta su límite de saturación una cantidad de gas o vapor que lo atraviesa.

El funcionamiento efectivo de los separadores de gases, adsorción y absorción, requiere una serie de elementos de control tales como un detector sensor para su puesta en funcionamiento al alcanzarse concentraciones peligrosas en las zonas a proteger y un sistema de detección que avise ciertas anomalías como temperaturas excesivas y concentraciones inadecuadas del líquido absorbente.

2.5.2.6 Limitadores de exceso de flujo: Se trata de válvulas denominadas también de exceso de flujo que actúan automáticamente limitando el caudal de trabajo para evitar que sobrepase un máximo prefijado. Tales válvulas actúan con funciones de seguridad para controlar un flujo máximo excesivo y contraproducente para un determinado proceso químico. En

tal sentido pueden contribuir a limitar una fuga, aunque su función específica no sea ésta. Tales válvulas tienen una fiabilidad no muy alta requiriendo un estricto programa de mantenimiento.

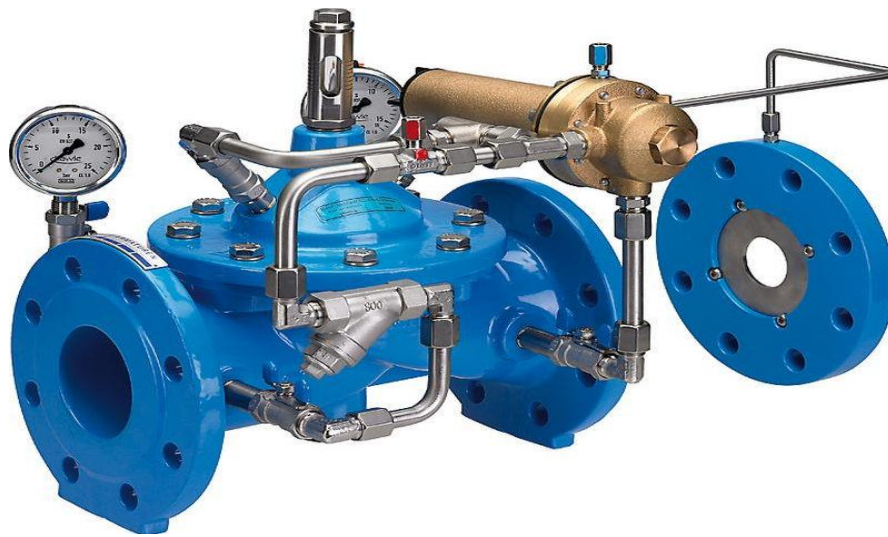


Figura 27: Válvula reguladora de caudal.

2.5.2.7 Sistemas de contención: Tales sistemas van orientados a lograr la retención del derrame o fuga de gas o vapor en espacios concebidos específicamente para este fin que a su vez facilitan su posterior tratamiento de eliminación.

En el caso de fluidos muy tóxicos transportados por tuberías ya sea en áreas muy transitadas o bien enterradas, es conveniente recurrir a la doble conducción de tal forma que la fuga quede confinada y pueda ser transportada a lugar seguro. En el primer caso por tratarse de lugares en los que las personas pueden verse fácilmente expuestas a intoxicaciones, y en el segundo caso en conducciones enterradas también porque las fugas no serían detectables oportunamente.

Los cubetos de retención, por otra parte, constituyen un sistema muy idóneo para evitar la dispersión de derrames de líquidos y de gases licuados peligrosos.



Figura 28: Cubetos de retención.

Los cubetos de retención deberían complementarse con un sistema de drenaje y bombeo del líquido derramado a lugar seguro. Las zonas de carga/descarga de cisternas están especialmente expuestas al riesgo de fugas por lo que deberían estar dotadas de sistemas de drenaje y detección de fugas.

2.5.3. MÉTODOS ACTIVOS EN EL PROYECTO

2.5.3.1 Sistemas de regulación y control: El disponer de un sistema centralizado de información continuada sobre las condiciones del proceso en tiempo real constituye una fuente básica para la identificación rápida de posibles fugas. Dicho sistema de información debe también canalizar todos los datos de los sistemas fijos de detección.

Lo deseable sería que desde el mismo lugar de recepción de tal información pudiera actuarse sobre los elementos clave de seguridad de la instalación (seccionamiento de parte de la instalación, transferencia de productos a lugares seguros etc.).

2.5.3.2 Sistemas de detección de fugas: Deberían instalarse una serie de detectores de funcionamiento continuo ubicados, tan cerca como sea posible, de las potenciales fuentes de fugas gaseosas, siempre que nos encontremos en ambientes interiores.

La información que facilitan los detectores debe estar centralizada en un punto de control con presencia continuada al margen de que existan sistemas de identificación y alarma en la zona afectada.

La sensibilidad de los detectores será tan alta como sea necesario, para detectar bajas concentraciones con el menor número de falsas alarmas.

Normalmente se regulan muy por debajo del nivel IPVS (Concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida y la Salud), con la finalidad de que haya el margen de tiempo suficiente para que entre en acción el plan de emergencia.

En el caso de gases o vapores inflamables la señal de alarma debería producirse al superarse el 20% del límite inferior de inflamabilidad.

Dada la limitación del empleo de unidades de medición continua de atmósferas peligrosas en ambientes exteriores, debe recurrirse a sistemas complementarios manuales. El empleo de tubos colorimétricos específicos y bombas de aspiración manual deben ser uno de los sistemas simples de comprobación periódica de pequeñas fugas. También en ocasiones suelen emplearse productos que mediante reacción química con la sustancia fugada originan un producto de reacción claramente identificable.

2.5.4. MÉTODOS ACTIVOS Y OPERABILIDAD

2.5.4.1 Revisión de la integridad física de la planta: Todo proyecto de instalación peligrosa debe ajustarse a normas y especificaciones de seguridad, controlando estrictamente que su montaje se realiza de acuerdo a las mismas.

Es necesario diseñar una serie de procedimientos de revisión y control de los diferentes elementos del sistema con funciones de seguridad. La información obtenida de estas inspecciones debería quedar convenientemente registrada para asegurar que durante el intervalo entre los diferentes controles su funcionamiento es satisfactorio. De los resultados de tales revisiones se debería ir ajustando el programa de mantenimiento.

La realización de auditorías periódicas por personal especializado sobre las condiciones de seguridad de la planta es una medida necesaria.

Deberían estar reguladas todas las intervenciones de personal foráneo a la planta a través de autorizaciones escritas de trabajo.

2.5.4.2 Revisión de la seguridad del proceso: Debería establecerse sistemas para el control de los diferentes factores de riesgo que puedan generarse en el proceso y que van desde el análisis de materias primas y demás productos que intervengan en el proceso hasta las propias condiciones de la instalación. Las bombas, las líneas de tuberías de proceso, las conexiones, juntas y materiales de estanqueidad deberían ser inspeccionados con frecuencia, si es que pueden generarse fugas peligrosas.

Debido a la implicación del error humano en instalaciones de proceso es necesario disponer de procedimientos escritos de trabajo en todas las operaciones críticas, en las que por actuaciones indebidas pudieran generarse situaciones de graves consecuencias. Los procedimientos de trabajo también serán revisados periódicamente para su actualización.

2.5.5. MÉTODOS ACTIVOS POSTERIORES A LA FUGA

2.5.5.1 Sistemas de obturación de fugas: Se deberían prever medios materiales para el taponamiento u obturación de fugas en puntos críticos como por ejemplo las válvulas de salida de fluido de botellones móviles. A pesar de que dichas válvulas están protegidas frente a impactos la movilidad de tales recipientes y el uso continuado de apertura y cierre de dichas válvulas provoca que éstas sean un punto muy vulnerable a fugas, por ello es recomendable disponer de sistemas de encapsulamiento a presión mecánica de las mismas en situaciones de emergencia. Mediante parches o masillas especiales se pueden aislar pequeñas fugas.

También mediante un sistema de congelación de tuberías de diámetro pequeño puede contrarrestarse un escape de líquido. Para esto se puede usar la nieve carbónica aplicada en sistemas aislados, siempre que, su uso no sea contraproducente, por ejemplo, por generación de cargas electrostáticas ante sustancias inflamables. Otro congelante podría ser el nitrógeno líquido usualmente empleado como agente inertizante.



Figura 29: Congelación de tuberías.

La limitación de estos sistemas de congelación está en el efecto fragilizante que pudiera tener sobre las tuberías.

2.5.5.2 Aplicaciones del agua ante fugas: El agua pulverizada es efectiva por tratarse de un diluyente universal, suele aplicarse tanto para

solubilizar a gases, vapores o líquidos que lo permitan, como para conferir sistemas de cerramiento del área afectada para limitar su difusión. Por otra parte, tiene sus limitaciones en especial ante los hidrocarburos insolubles, ya que por la menor densidad de éstos podría contribuir a propagar un derrame líquido.

La instalación fija de cortina de agua perimetralmente a un área expuesta a riesgo queda reservada por razones económicas y de efectividad a los depósitos y tanques de almacenamiento de gases licuados o gases más densos que el aire. También este sistema de aislamiento por cortinas de agua puede utilizarse como sistema de protección a las radiaciones térmicas de un incendio. El sistema de cortinas por agua requiere complementarse con los cubetos de retención.

2.5.6. PREVENCIÓN DUARANTE Y DESPUES DEL MONTAJE DEL PROYECTO

2.5.6.1 Prevención durante y después del montaje: Tras la realización del proyecto, el montaje de la instalación es una etapa clave para evitar defectos y posibles fallos, siendo necesario complementar aquellos detalles especificados en el proyecto y realizando este bajo normas de reconocida solvencia.

A continuación, se citan algunos puntos a considerar:

a.- Control de compras y recepción de materiales

- El equipo a montar debe estar realizado con los materiales especificados.
- Se debería disponer de un sistema de control de calidad en la recepción de equipos y elementos.
- Cuando se empleen tuberías recuperadas deberá verificarse previamente que cumplan con las especificaciones del proyecto.

b.- Prevención en el montaje

- Se procurará, en lo posible, evitar el montaje de tuberías subterráneas. En su defecto y cuando se trate de fluidos muy peligrosos debería considerarse la conveniencia de doble tubería u otros sistemas que eviten fugas incontroladas.

- La mano de obra empleada debería ser especializada en los trabajos a realizar.
- Las tuberías no se deben asegurar rígidamente (mediante soldadura o soportes) de tal manera que se impida la libre dilatación.
- Se debe verificar que los soportes y demás fijaciones de tuberías se encuentran libres de elementos que atasquen o impidan la dilatación del tubo.
- Se tiene que evitar que las tuberías estén en contacto con el suelo.
- Se deben evitar las conexiones roscadas (especialmente si el fluido es un GLP).
- Las tuberías no deben pasar a través de hoyos o depresiones del terreno que son susceptibles de encharcamiento.
- El final de las tuberías de salida de las válvulas de alivio no deberá estar cerca del suelo, con el fin de evitar que la suciedad o el agua helada lo taponen.
- Para prevenir las heladas, se deberán disponer los drenajes suficientes para poder vaciar las tuberías que transporten agua.
- Es conveniente la disposición de válvulas de purga previamente a las bombas.
- Hay que asegurar que no exista retenciones de agua entre superficies metálicas de las instalaciones de tuberías tales como entre la abrazadera y la tubería correspondiente.

c.- Prevención después del montaje

- Hay que comprobar que se han quitado los soportes provisionales.
- Se comprobará que las derivaciones, manguitos y tapones provisionales han sido sustituidos por los elementos definitivos, soldados según indica el proyecto.
- Se deberá verificar que el equipo se ha instalado según el proyecto, respetando principalmente las direcciones de los fluidos.

2.6. Detección y control de fugas en la industria de hidrocarburos

La industria del gas y el petróleo es uno de los entornos más exigentes y tiene necesidades de comunicación únicas, por lo que constituyen un gran desafío. Durante muchos años, las empresas de gas y petróleo han confiado en las soluciones inalámbricas para el monitoreo, el control y el establecimiento de redes en activos de producción y actividades operativas.

Las soluciones inalámbricas dan respaldo a las petroleras más importantes del mundo con soluciones inalámbricas confiables y seguras para aplicaciones que incluyen monitoreo y control en boca de pozo, monitoreo de ductos, detección de fugas, vigilancia ambiental, protección catódica y mediciones de caudal. En la actualidad, los propietarios de pozos, operadores de equipos de perforación, los productores de gas en napas superficiales y las empresas de exploración están utilizando tecnología inalámbrica para aumentar la productividad, reducir los costos y mejorar la seguridad.

Los propietarios y operadores de campos petroleros y plataformas marinas están constantemente enfrentando desafíos en la mejora de la productividad de los activos y la eficacia operativa. Una infraestructura de red inalámbrica es el camino más seguro para proporcionar una mayor seguridad y productividad en aplicaciones con entornos ambientales exigentes. El monitoreo inalámbrico de flujo, presión, nivel, temperatura y posición de válvulas se utiliza para optimizar el funcionamiento de tuberías y almacenamiento, además de incrementar la seguridad y el cumplimiento normativo.

Las soluciones inalámbricas pueden controlar eficazmente la corrosión de tuberías, un problema creciente en la infraestructura de tuberías envejecidas, lo que puede dar lugar a fugas, emisiones e incluso explosiones letales en las instalaciones de producción y refinerías.

Con la conectividad inalámbrica, la extracción segura de adquisición de datos de dispositivos de monitoreo de boca de pozo puede ser transmitida a una sala de control central o a múltiples estaciones a la vez para un análisis fácil y rápido. Así, los operadores pueden responder con acciones que ayuden a reducir o eliminar el tiempo inactivo de un pozo.

Usando la conectividad inalámbrica, la vigilancia con cámaras puede reenviar alertas e imágenes de video a las instalaciones de administración de sectores de la operación que no cuentan con personal; de esta forma, los operadores pueden responder rápidamente ante una falla de seguridad. Estas aplicaciones, entre otras, destacan cómo las soluciones inalámbricas pueden mejorar la productividad, fortalecer la seguridad y reducir el costo de activos y de operaciones.

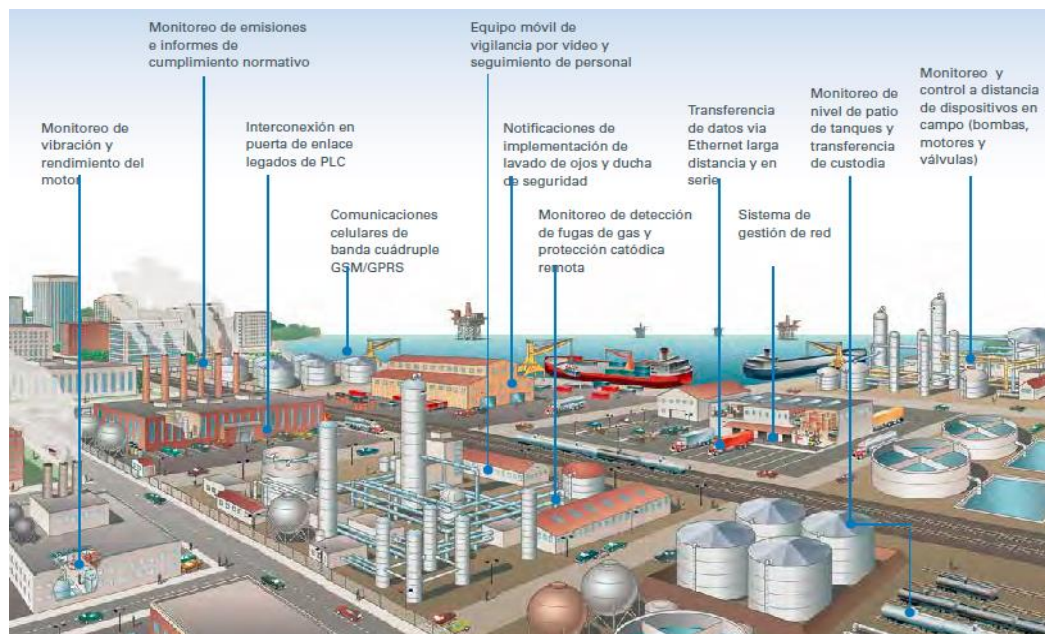


Figura 30: Refinería interconectada inalámbricamente.

Las probables causas de fallas en las tuberías son la corrosión y las fugas. El operador de una extensa tubería de petróleo trata de prevenir fallas en la tubería y posibles litigios. Las fallas no detectadas por el sistema de protección son las que provocar corrosión y fugas costosas en una refinería. Los transmisores inalámbricos individuales se implementan para monitorear el rendimiento del sistema de protección catódica. Esa protección suprime activamente la corrosión de tuberías con la inyección de corrientes eléctricas.

Las unidades inalámbricas supervisan la corriente de inyección en los sitios de inyección activo; y también supervisan la tensión de tubería en puntos específicos entre los sitios de inyección. Cientos de estas mediciones se transmiten a un computador SCADA proporcionando una indicación del rendimiento del sistema y una alarma temprana de falla en el sistema. Las unidades se alimentan de una pequeña pila alcalina compacta, apagándose entre mediciones para prolongar la vida de las baterías a un poco más de 3 años. Muchas unidades repetidoras inalámbricas extienden el rango de cobertura inalámbrico a la totalidad de la tubería.

En conclusión, se utiliza la combinación de módulos E/S inalámbricos de bajo consumo, módulos de interfaz de protocolo de puerta de enlace, el sistema de protección catódica de tuberías y un sistema SCADA para supervisar la buena condición de un oleoducto. El sistema de protección catódica es el encargado de suprimir activamente la corrosión de las tuberías inyectándoles corrientes

eléctricas, mientras que el sistema SCADA proporciona la adquisición de datos de control y supervisión de información de campo en la sala de control evitando así costos por corrosión, fugas y posibles litigios. Los dispositivos inalámbricos de baja potencia alimentados a batería no solo entregan las comunicaciones inalámbricas, sino que también inyectan tensión eléctrica en los dispositivos catódicos. Cientos de mediciones son capaces de ser transmitidas a un ordenador a través de los repetidores inalámbricos de puerta de enlace SCADA y al propio sistema.

2.7. SISTEMA DE VIDEOVIGILANCIA Y SEGURIDAD

2.7.1. Evolución de los sistemas de seguridad

La vigilancia y la seguridad son temas que han adquirido relevancia en la actualidad, tanto en el ámbito corporativo como el doméstico. Todos quieren contar con un completo sistema de vigilancia, que permita evitar los delitos o poder identificar a los autores de un robo o de una conducta indebida.

Sin embargo, el sistema tradicional de vigilancia a través de un circuito cerrado de televisión (CCTV), presenta múltiples debilidades, las cuales han sido constatadas por las empresas que usan este servicio. Uno de sus principales problemas es el alto costo de mantención.

Cuando se opera bajo este sistema análogo, hay que ocupar tres cassetes todos los días, para grabar las 24 horas. Posteriormente, hay dos alternativas: o se reciclan las cintas, regrabando sobre ellas, lo que de todas maneras no se puede hacer infinitamente, o se almacenan en una bodega especial para recuperar la grabación. Además, para que todo funcione a la perfección, hay que cambiar los equipos de grabación más o menos cada seis meses, porque después de ese tiempo generalmente comienzan a tener problemas técnicos. Finalmente, hay que tener en cuenta el factor humano, puesto que si hay más de dos cámaras vigilando diversas partes de un mismo edificio o lugar público, sólo basta que el guardia de seguridad se distraiga un minuto para que nadie sepa que algo ocurre.

Con todas estas debilidades del sistema tradicional, la llegada de la tecnología digital marcó un hito en el tema de la vigilancia y la seguridad, con la aparición de la tecnología Digital Video Recording (DVR). Esta tecnología convierte las imágenes analógicas a lenguaje digital, activa la grabación de eventos por el movimiento o por horarios programados y almacena las imágenes en formato JPEG, MPE G y Wavelet, archivado de video en el disco duro, acceso

a visualización remota de las cámaras en una red LAN, Internet o por vía telefónica y mostrar una o varias cámaras en la pantalla del PC, lo que marcó una importante simplificación de dinero y espacio en los sistemas de seguridad.



Figura 31: Sistema de seguridad con DVR.

Sin embargo, lo último en tecnología es la vigilancia sobre Internet, donde a través de un número IP se puede observar lo que ocurre en un lugar remoto en tiempo real, almacenarlo y comunicarlo a las personas que se quiera. También puede incorporar la tecnología WiFi, permitiendo su instalación en cualquier lugar sin necesidad de cableado.

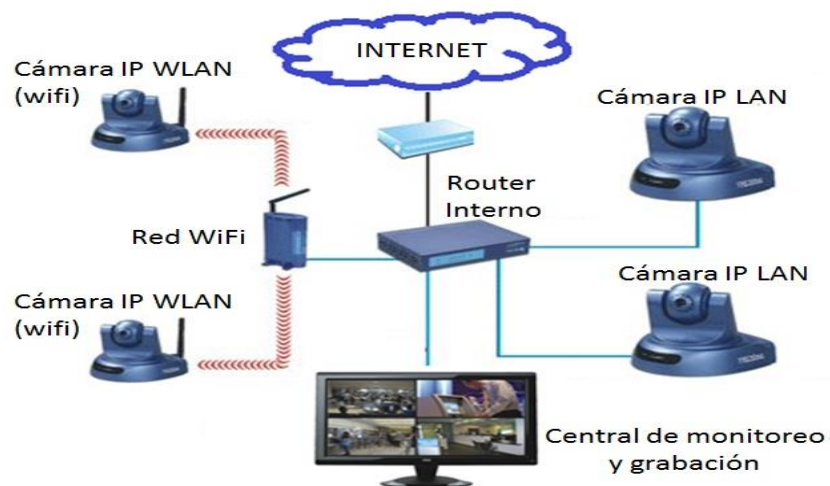


Figura 32: Sistema de seguridad con internet.

Las principales ventajas de esta tecnología son el bajo costo de mantención, la facilidad de instalación y la calidad de la imagen (superior a la análoga), además de otros beneficios en la aplicación misma, como las avanzadas capacidades de búsqueda (sin necesidad de buscar ni rebobinar cintas), la

posibilidad de estar grabando revisando los archivos en forma simultánea, y un mejoramiento en el sistema de almacenamiento.

A través de este sistema de vigilancia, es posible que varias personas revisen la misma imagen desde computadores y lugares diferentes. Por otro lado, las cámaras de vigilancia de hoy poseen una mayor tecnología, y todos los rangos de precios. Pueden ser inalámbricas o cableadas, con diferentes ángulos de movimiento, y poseer audio unidireccional o bidireccional (con micrófono y parlante incorporado).

Esta amplia gama de posibilidades abre nuevas dimensiones en el ámbito de la vigilancia y la seguridad. Algunos ejemplos son la prevención de incendios, la vigilancia de personal en todas las industrias, la supervisión de procesos industriales peligrosos para el hombre, la posibilidad de realizar exámenes, diagnósticos y hasta cirugías de forma remota, la vigilancia de tiendas, estacionamientos, calles y lugares públicos, y por supuesto, la seguridad en el hogar, ya sea observando el comportamiento de la niñera en la casa desde la oficina, o vigilando el hogar cuando la familia está de vacaciones, desde cualquier computador conectado a internet. Por supuesto, las imágenes que capta la cámara no son de dominio público, sino que existe una clave a la que sólo pueden acceder los usuarios autorizados.

La importancia de los sistemas basados en la tecnología referida a las cámaras de seguridad, consiste actualmente en brindar un fuerte apoyo al tema de la seguridad integral, aludiendo entre sus virtudes a la capacidad de ejercer una vigilancia preventiva mediante el registro visual de sucesos. Su incorporación y aplicación en el mercado, va dirigida a asegurar un amplio espectro de ambientes y lugares, que van desde empresas de diversos rubros, centros comerciales, supermercados, aeropuertos, condominios y viviendas particulares, vías públicas, centros de eventos, transporte público, minería y establecimientos educacionales, entre otros. Respecto de la evolución que han experimentado estos sistemas durante el transcurso de los últimos años, se podrían clasificar en dos grandes eras, la análoga y la digital.

La era de la seguridad análoga se inicia con el desarrollo de sistemas de seguridad basados en cámaras, multiplexadores, monitores de TV y VCR (Video Cassette Recorder o video grabadores VHS), todos los que aún siguen siendo fabricados y comercializados en el mundo. A estos sistemas se les llama CCTV y su principal funcionalidad responde al monitoreo de imágenes obtenidas de las

cámaras y la opcional grabación de estas en cintas VHS. Estos sistemas comenzaron a ser implementados en los años 50 en forma muy básica, durante los años 70 mejoraron significativamente y actualmente se han complementado con equipos tales como VCR y monitores. Dicha tecnología, se continúa usando masivamente en términos de prevención de seguridad. Sin embargo, constituyen un alto costo de mantenimiento respecto del inevitable deterioro en el tiempo con relación al recurso de cintas, sin mencionar el constante reemplazo de las mismas a fin de no discontinuar las grabaciones. Además, prevalece el alto costo de depender del factor humano, ya que constantemente se requiere de una persona que supervise los VCR, sumado a ello, la gran demanda de tiempo y la escasa posibilidad que implica contar con una grabación anterior ante un requerimiento relacionado con un evento específico que se desee investigar.

En los últimos años, se ha potenciado el desarrollo de la tecnología DVR (Digital Video Recorder), alternativa que ha venido en resolver la totalidad de los problemas presentados por el sistema análogo. Estos nuevos sistemas están principalmente basados en una plataforma computacional que permite la visualización y grabación de grupos de cámaras (en formatos de 4, 8, 16 cámaras como estándar) durante las 24 horas del día, manteniendo como característica relevante el almacenamiento digital de las imágenes obtenidas desde las cámaras en discos duros, de la misma forma en que un archivo se guarda en un PC. Esta función permite, entre otros beneficios, obtener una mayor calidad de las imágenes grabadas sin deterioro en el tiempo, grabación circular sin necesidad de reemplazar cintas (esto es, que dependiendo de la capacidad de los discos duros, se pueden almacenar varios días continuos de grabación que se van renovando en forma automática), y entre otros una fácil búsqueda automatizada de las imágenes grabadas sobre la base de fechas, horas, número de cámara, sistemas de alarmas, etc.

Características Relevantes los sistemas DVR son las siguientes:

- Grabación seleccionada por el usuario: Continua, por calendario, activada por detección de movimiento, sensores y alarmas.
- Funcionamiento como Servidor de Cámaras: Los sistemas DVR permiten la conexión en forma remota y segura desde otros equipos con software cliente, como PC de escritorios, laptops, sobre redes LAN e Internet, tanto para la visualización de las imágenes en tiempo real y revisión de los videos grabados, como para la administración y la configuración de

los DVR. A su vez, tan solo con una conexión a Internet y un navegador Web como Google Chrome, es posible realizar una conexión desde cualquier lugar del mundo para monitorear lo que está sucediendo en el lugar donde se encuentran instaladas las cámaras o buscar los registros anteriormente almacenados.

- Conexión a cámaras PTZ o cámaras DOMO: Control de las características que incluyen actualmente las cámaras modernas o profesionales, mediante el software DVR y sin necesidad de utilizar las controladoras convencionales.
- Múltiples herramientas para la búsqueda de imágenes grabadas y vastas funciones para el respaldo y exportación de estas, en medios como CD, DVD, etc.
- Excelente calidad de imagen en un archivo pequeño: Los actuales métodos de compresión existentes (MPEG -4, JPEG, etc.) permiten reducir el espacio requerido para la grabación de las imágenes, manteniendo una calidad superior a la obtenida en una grabación en cinta VHS.
- Notificaciones configurables por el usuario: Brinda la posibilidad de configurar el sistema para recibir una notificación vía email o SMS cuando alguna cámara detecta movimientos o el disco duro está alcanzando un punto crítico, entre otras.
- Permiten concentrar diferentes servidores DVR en una sola estación de monitoreo.
- Alto nivel de seguridad en el acceso de usuarios al sistema.

Los sistemas DVR, por su autonomía respecto del recurso humano nos permiten un significativo ahorro de dinero, sumado a la fase mantenimiento que es autónomo y configurable. Además, tienen una extensa compatibilidad con las modernas cámaras DOMO e IP.

Los sistemas de tecnología analógica y la digital, dependen a su vez fundamentalmente del tipo de cámaras utilizadas, dispositivos que se encuentran en una diaria y constante evolución respecto del desarrollo de tecnologías más avanzadas que aporten una mejor calidad de imagen para los diferentes escenarios en donde sean utilizadas.

Con relación al tipo de cámaras a utilizar, es de vital importancia elegir la correcta que se adecue al ambiente a monitorear, en mérito a que el mercado ofrece desde cámaras básicas de bajo costo, basadas en sensores CMOS con

lentes incorporados, hasta sofisticados sistemas DOMO (cámaras montadas sobre bases motorizadas que permiten el movimiento horizontal y vertical, con zoom óptico y digital, que incluyen visión nocturna y que soportan las más exigentes condiciones climáticas.

Cuando se analiza el costo de tener un sistema CCTV análogo, el incremento del costo en las cámaras IP no es significativo si se compara al de implementar sistemas DVR en un lugar, ya que el sistema CCTV análogo presenta desventajas respecto a la tecnología IP:

- Cableado extra e instalación, especialmente cuando queremos agregar la funcionalidad de las cámaras PTZ.
- Los sistemas CCTV análogos no se integran con otras tecnologías IP como control de accesos, Intranets, etc.

El uso de la tecnología IP hará cualquier red de trabajo a “prueba de futuro” ya que le permitirá escalabilidad, desarrollo, actualizaciones e integraciones con otros sistemas que utilizan la misma tecnología.

Las cámaras IP tienen las siguientes ventajas:

- Múltiples usuarios autorizados pueden ver simultáneamente en cualquier momento, desde cualquier lugar la misma cámara IP.
- El vídeo convertido a digital ofrece una resolución mucho más alta que sus precursores análogos.
- La instalación y el mantenimiento de los sistemas digitales de vigilancia han demostrado ser más eficientes en costo que los sistemas análogos.
- El acceso a la red permite la implementación de cámaras WiFi, eliminando el costo del cableado.
- La conexión con teléfonos celulares 3G y 4G permiten un sistema móvil de vigilancia en la palma de la mano.

2.7.2. Sistemas de seguridad basados en cámaras

Los sistemas digitales basados en videovigilancia IP, en términos generales, permiten la captación, tratamiento, o la grabación, de imágenes y sonido de forma digital ya sea de lugares públicos o privados. Estos sistemas de videovigilancia IP, se basan a nivel general en el protocolo IP (Internet Protocol) para comunicarse entre sí. Estas digitalizan las imágenes y sonidos que captan de forma autónoma, y las emiten a través del protocolo de comunicación IP mediante una red Ethernet

(LAN), lo que permite ver en tiempo real lo que está pasando tanto en un lugar cercano, a través de una PC o Tablet conectados a dicha red, o aunque estén a miles de kilómetros de distancia, cuando estas se conectan a internet o a una red de área extendida (WAN), mediante algún sistema IP.

Estas cámaras incorporan en una memoria ROM el protocolo IP, y a grandes rasgos llevan incorporado un microordenador especializado en ejecutar aplicaciones de red, con el cual procesan las imágenes digitalizadas lo que le permite comprimir y emitir video y audio IP en tiempo real por sí mismas. Esta es la mayor virtud de las cámaras IP, pues no necesitan estar conectadas físicamente a una PC para funcionar, esta es una de las diferencias con las cámaras web.

Los sistemas de videovigilancia basados en cámaras IP, pueden estar compuestos por un amplio abanico de componentes. En general puede estar compuestos por una única cámara IP autónoma en red que grabe imágenes en una habitación, codificarlas en algún formato e incluso comprimirlas mediante algún algoritmo o en algunos casos encriptarlas para emitirlas a través de una red local (LAN) o través de cualquier equipo conectado a internet (WAN). Las cámaras IP también tienen la posibilidad del envío de alarmas programadas como por ejemplo por medio de E-mail.

Las cámaras IP captan las imágenes y las emiten a través de red Ethernet para su grabación o visualización local o remota. Existen varios tipos, las principales son las de tipo domos, que son cámaras compactas protegidas por una carcasa y disponen de un microservidor web que permite su conexión directa a internet o una red local. También hay las de tipo profesional donde a estas se les va añadiendo otros sistemas, como visión nocturna, auto iris, carcasa exterior, etc.



Figura 33: Tipos de cámara IP (Profesional tipo DOMO).

Los periféricos de las cámaras IP son los siguientes:

2.7.2.1 Lentes Auto iris e iluminación nocturna con infrarrojos (IR): Para compensar los cambios de luz y brillo, las cámaras IP están equipadas con un lente que automáticamente ajusta el iris en función de la cantidad de luz circundante.



Figura 34: Lente para visión nocturna.

El iluminador de infrarrojos es un elemento que emite luz infrarroja (IR) para que las cámaras con capacidad nocturna puedan captar imágenes en oscuridad (blancos y negros).

2.7.2.2 Entradas y salidas de audio: Las entradas y salidas de audio permiten captar sonidos acompañando la imagen y emitir (salidas) audio integrado en un sistema de videovigilancia IP.



Figura 35: Entradas y salidas para audio.

2.7.2.3 Sensores de alarma: Gran variedad de sensores pueden ser conectados con el sistema de videovigilancia IP para alertas de variaciones en las condiciones físicas que puedan ser utilizados para empezar una grabación, activar la iluminación IR, desconectar un sistema, etc.



Figura 36: Entrada para sensores.

Es posible conectar sensores de alarma externos a las cámaras IP. Todas las cámaras y grabadores de video digital en red (NVR) disponen de entradas para conectar opcionalmente sensores externos complementarios a los sistemas que incluyen de fábrica, por ejemplo detectores PIR convencionales para poder cubrir la detección de movimiento que pudiera provenir de ángulos no cubiertos por la cámara o activar el envío de imagen o audio por red.

Normalmente tienen en la propia cámara IP un conector auxiliar interno de 4 pines que cure las operaciones de E/S.

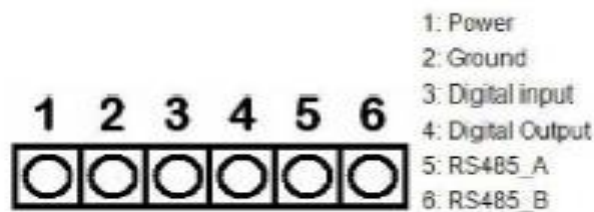


Figura 37: Pines de conexión para conectar sensores a las cámaras.

2.7.3. Tipos de conexión de las cámaras IP

Una de la ventajas que más se perciben de las cámaras IP es la habilidad de utilizar la infraestructura del cable (LAN) de una red ya existente, es decir una conexión cableada de cobre de para trenzado o mediante otras conexiones inalámbricas de corto WiFi o largo alcance WIMAX.

El entorno de videovigilancia IP es digital y toda la información se trata como ficheros de datos, que pueden a su vez contener secuencias de audio, video, imágenes digitales estáticas, etc. El acceso a conexión de red permite la distribución de la señal de forma remota, en vez de las líneas de punto a punto que se utilizan en sistemas de video analógicos.

La instalación de cámaras IP requiere un conocimiento en la configuración apropiado de la cámara y de las redes Ethernet. También se pueden instalar

cámaras IP sobre el cableado de la línea telefónica sin perjudicar las llamadas por teléfono, para lo cual se emplea un dispositivo llamado VSDL que permite convivir sobre el mismo par trenzado del teléfono la voz y el video. Se debe considerar esta opción cuando el recinto no es muy grande o se deben instalar pocas cámaras IP y no se requiera una calidad de alta definición en el video.

Los tipos de conexión cableada de cámaras IP son:

2.7.3.1 Ethernet UTP RJ-45: Su gran ventaja es que es posible conectar las cámaras IP como un equipo más dentro de una red local (LAN) y debido a que generalmente las redes locales tienen conexión a internet, las imágenes salen al exterior como lo hace el resto de información de la red.

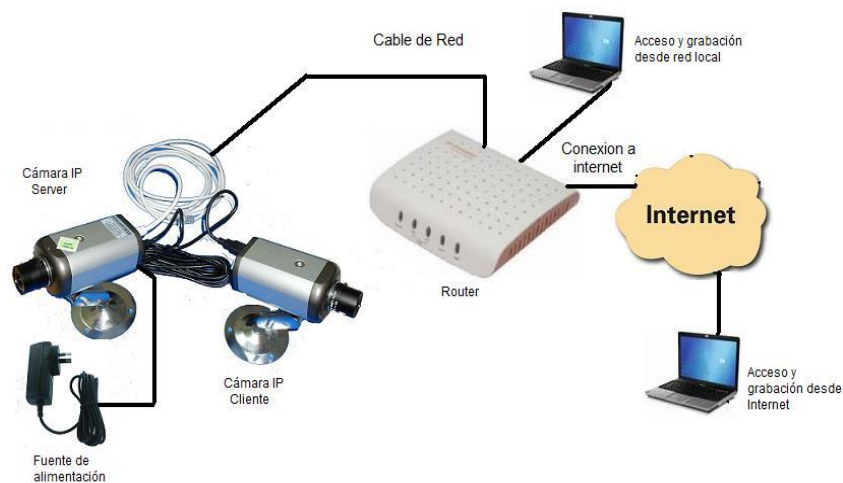


Figura 38: Cámaras IP conectadas con Ethernet.

2.7.3.2 Fibra óptica: Este tipo de cableado también es usado en las cámaras IP a través de un optoacoplador RJ-45, alcanzando grandes distancias de cientos de Km entre las cámaras IP y los centros de control en instalaciones de alta seguridad. Es la red con mayor Bit Rate llegando a los 2 Gigabytes por segundo, básicamente las imágenes digitalizadas se envían a través de pulsos de luz. Posibilita el envío de gran cantidad de video en alta calidad ideal en videovigilancia IP debido al gran ancho de banda.

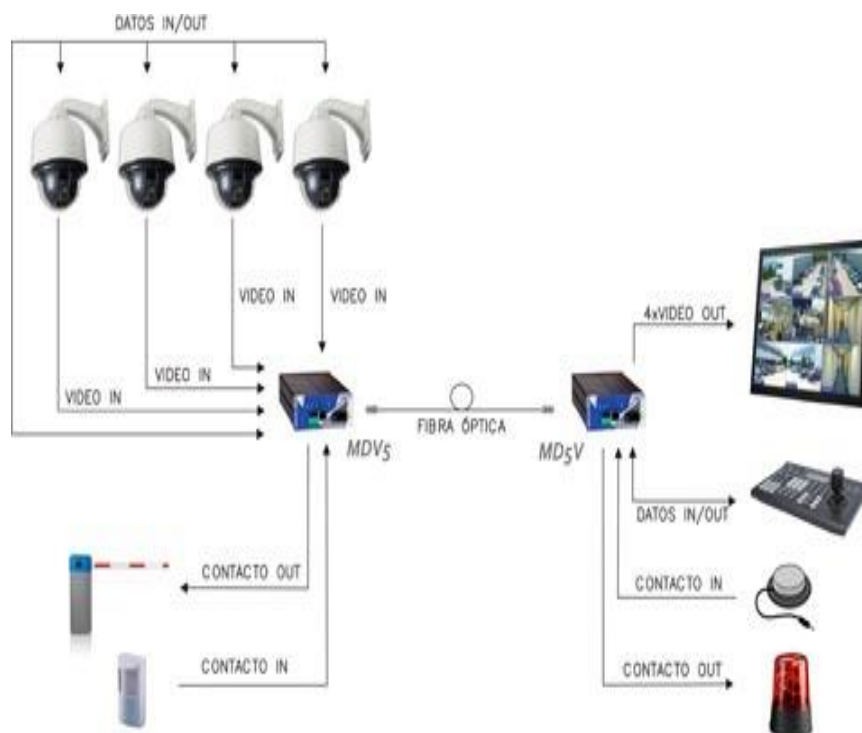


Figura 39: Cámaras IP conectadas con fibra óptica.

Habitualmente para menos de 2 Km de fibra óptica se usa el tipo multimodo un poco más barata y para mayores distancias del tipo monomodo, e incluso la conexión a un múltiplex en recepción vía satélite. Se debe considerar esta opción cuando el recinto a vigilar es grande o se deben instalar muchas cámaras IP y se requiera una definición alta en el video.

Una de las claras ventajas de las cámaras IP es la flexibilidad para ser integradas a una red inalámbrica. Considerando que las redes inalámbricas IP son “ilimitadas” en términos de expansión, se debe considerar sin embargo en al ancho de banda y la topología de la red.

Los tipos de conexión inalámbrica de cámaras IP son:

2.7.3.3 WiFi: La norma IEEE 802.11 fue diseñada para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma IEEE 802.3 (Ethernet). Esto quiere decir que en lo único que se diferencia una red WiFi de una red Ethernet es en cómo se transmiten las tramas o paquetes de datos, mientras que el resto es idéntico. Por lo tanto, una red local inalámbrica es completamente compatible con todos los servicios de las redes locales (LAN) de cable Ethernet.



Figura 40: Cámaras IP interconectadas con WiFi.

2.7.3.4 WiMAX: Siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz. Es una tecnología también conocida como bucle local que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio.

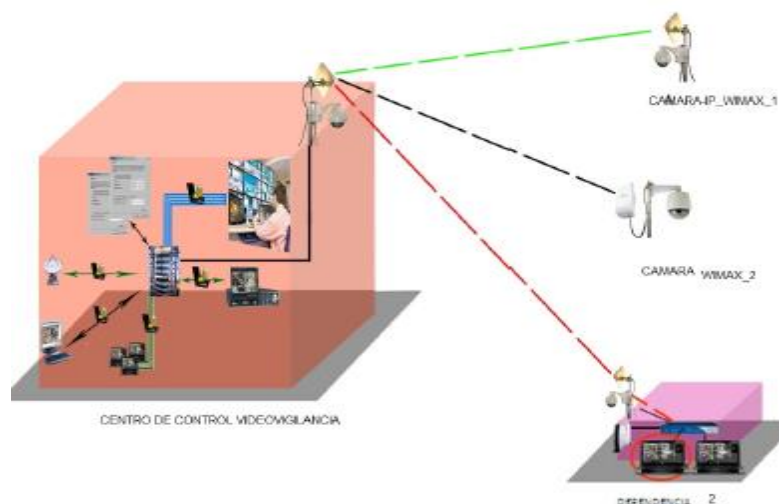


Figura 41: Cámaras IP interconectadas con WiMAX.

2.7.4. Bloques internos de una cámara IP

Las cámaras IP internamente están constituidas por una “cámara digital de video” propiamente dicha, en donde se destacan los siguientes bloques:

2.7.4.1 Lente: Por defecto, las cámaras IP llevan un lente de fábrica, aunque se le pueden añadir otro tipo de lentes a parte de los normales, como los

angulares y teleobjetivos e infrarrojos para visión nocturna. Esto se suele hacer en las cámaras IP profesionales ya que permiten un rango amplio a cada modelo que ofrece el fabricante.

2.7.4.2 Sensor de imagen CCD: Este sensor consta de tres fotodiodos llamados R-G-B, uno para cada longitud de onda determinada en los 380 nm y 780 nm según el color deseado (Rojo, Verde y Azul). Este elemento posee una respuesta a su entrada lineal por lo que la información generada es proporcional al número de fotones recibidos según la luz que llegue. La captura de estos fotones en forma de energía de una señal luminosa brinda a la salida un voltaje digitalizado entre los niveles de 0-255, codificados con 8 bits para cada uno de los fotodiodos. El color de cada fotodiodo se divide en celdas más pequeñas, y cada celda se llama pixel de una imagen.

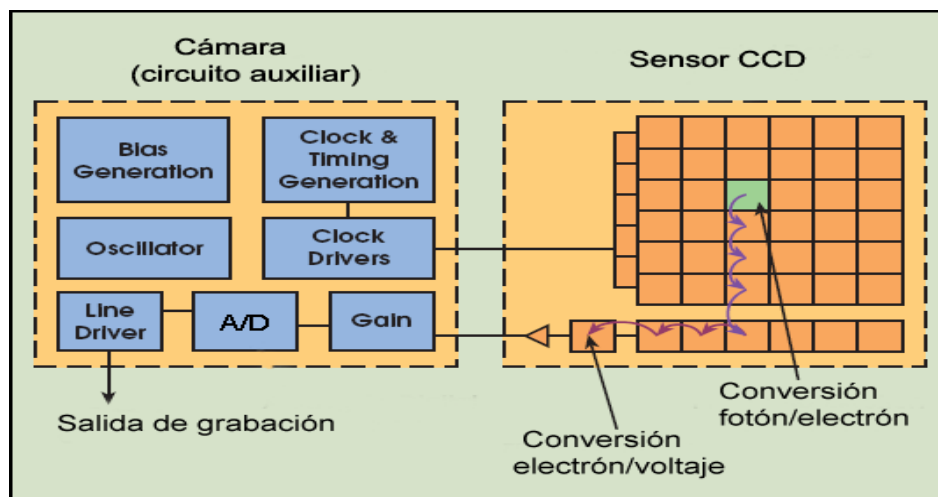


Figura 42: Sensor de imagen CCD.

2.7.4.3 Procesador de video digital (DSP): Procesa la imagen captada e interpreta la información del sensor de cada fotodiodo en píxeles recibidos del sensor tanto en horizontal como en vertical en tiempo real y genera el archivo de imágenes digitales RGB correspondiente. El video digital de estas imágenes es enviado al “motor” de compresión en busca de optimización debido a un hardware exclusivo para aplicaciones que requieren operaciones numéricas a muy alta velocidad.

Si se tiene en cuenta que un DSP puede trabajar con varios datos en paralelo y un diseño e instrucciones específicas para el procesado digital, se puede dar una idea de su enorme potencia para este tipo de aplicaciones.

2.7.4.4 El micrófono: El audio es captado a través de un micrófono y es digitalizado en una etapa posterior, concretamente en la etapa de procesado. Normalmente el formato estándar de compresión de audio utilizado es el mpeg-layer-3 o mp3.

2.7.4.5 “Motor” de compresión de imágenes por hardware: Los datos generados durante la etapa de digitalización de las imágenes en el sensor CMOS o CCD es muy elevada y su uso requiere mucha capacidad almacenamiento o ancho de banda. Para evitar esto, las imágenes se comprimen con los formatos estándar JPEG o H.264 ya que contienen redundancia temporal, espacial y espectral. En términos generales, se reduce la redundancia espacial registrando diferencias entre las partes de una misma imagen, ahorrando ancho de banda en la transmisión de audio y video.

2.7.4.6 Microordenador: El microordenador consta a su vez de una CPU, memoria FLASH, memoria DRAM y Firmware necesario para gestionar el arranque de la cámara IP. Es el encargado de gestionar procesos propios, tales como la compresión de imágenes, el envío de imágenes digitales con el estándar de compresión establecido, la gestión de alarmas y avisos, la gestión de las autorizaciones para visualizar imágenes, o su configuración interna.

2.7.4.7 Módulo de Red Ethernet/WiFi: La información es ordenada siguiendo los protocolos de transmisión, por lo tanto es deseable que la cámara maneje múltiples protocolos como HTTP, HTML, TCP/IP, entre otros, y en especial el IP con una dirección IP configurable por el usuario que sea el administrador de las cámaras IP. De esta forma es posible conectar las cámaras IP como un equipo más dentro de una red LAN o WAN.

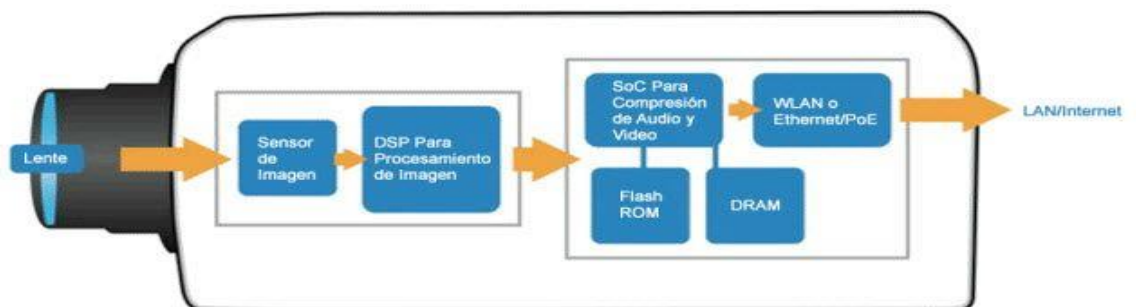


Figura 43: Bloques internos de una cámara IP.

En conclusión, las cámaras IP son unos equipos totalmente autónomos y no necesitan estar conectados a un PC para funcionar ya que se pueden conectar a

una red específica (LAN, WAN, WiFi, WiMAX). Esta es una de las grandes diferencias con las cámaras web o Webcam y que dan a las cámaras IP gran flexibilidad. Es por esta razón que las cámaras IP son fabricadas para trabajar 24 horas durante el todo el año.

METODOLOGIA PROPUESTA

CAPITULO III

3.1. DETERMINAR EL ANCHO DE BANDA EN LA TOPOLOGÍA DE COMUNICACIÓN

Para asegurar un óptimo funcionamiento en la topología de comunicación diseñada para la transmisión de información del Sistema SCADA y Detección de Fugas es preciso el cálculo del ancho de banda utilizado por cada nodo de comunicación (equipos que enviarán registros y video en algunas estaciones), a través de radioenlace que serán instalados en las respectivas estaciones. Para esto se calculará el ancho de banda utilizado para cada estación y el ancho de banda en cada radioenlace entre estaciones.

Con el dimensionamiento del ancho de banda de acuerdo al equipamiento seleccionado y según el diseño de la topología de comunicación a través del software propietario de RADWIN, se calculará finalmente que el ancho de banda dimensionado (BW) es suficiente para transportar la información del sistema SCADA, Detección de Fuga y Video Vigilancia para algunas estaciones, así como el porcentaje del ancho de banda utilizado para cada radio-enlace y por ende la respectiva reserva.

3.1.1. Ancho de banda utilizado en cada estación

Basado en una hoja de cálculo de ancho de banda entre **FAST/TOOLS** con **STARDOM** propietario de **YOKOGAWA** y especificaciones técnicas del **SRU-504**, cámaras, listado de entradas y salidas del controlador Stardom, Fire & Gas y P&ID de las estaciones, se realizará el cálculo del ancho de banda utilizado en cada una de las estaciones.

Para el cálculo del consumo de ancho de banda de las cámaras se utilizará una calculadora de ancho de banda y almacenamiento.

3.1.2. Ancho de banda utilizado por cada Radioenlace

De acuerdo a los resultados obtenidos en el paso anterior y considerando la topología de comunicación se dimensionará el Sistema de Radioenlaces.

| ESTACION TRANSMISORA | ESTACION RECEPTORA |
|----------------------|--------------------|
| ESTACION 59 | PATIO TANQUES PTT |
| PATIO TANQUES PTT | FOLCHE |
| FOLCHE | ESTACIÓN 172 |
| ESTACION 172 | VALVULA 1 |
| VALVULA 1 | VALVULA 2 |

3.2. MEDICIÓN DE PARÁMETROS IMPORTANTES

En este apartado se muestran las fórmulas matemáticas y los datos de partida que se usarán para dimensionar y comprobar la viabilidad de cada uno de los radioenlaces en la banda no licenciada de 5.8 GHz.

Para la frecuencia seleccionada que es 5.8GHz no se considerarán las atenuaciones por absorción ni las atenuaciones por lluvia ya que son despreciables en frecuencias inferiores a los 10GHz.

3.2.1. Distancia entre dos puntos geográficos

La distancia entre dos puntos geográficos se puede calcular matemáticamente usando la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{[111,32 * (LatA - LatB)]^2 + [111,32 * (LongA - LongB)]^2 + \left(\frac{AltA - AltB}{1000}\right)^2}$$

Dónde:

D es la distancia entre Transmisor y Receptor.

LatA es la Latitud del Punto A.

LatB es la Latitud del Punto B.

LongA es la Longitud del Punto A.

LongB es la Longitud del Punto B.

AltA es la Altura del Punto A.

AltB es la Altura del Punto B.

111.32 Km es la constante de transformar grados en Km.

3.2.2. Alcance máximo del Radioenlace

Si se incluye en el cálculo la altura de las antenas transmisora y receptora, se obtendrá la distancia máxima entre transmisor y receptor, sobre un terreno razonablemente plano.

$$Ar = \sqrt{17h_1} * \sqrt{17h_2}$$

Dónde:

Ar es la distancia máxima entre antenas en Km.

h1 es la altura de la antena transmisora en m.

h2 es la altura de la antena receptora en m.

3.2.3. Medición del PIRE

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE), es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena.

$$PIRE = Pt - Pc + Ga$$

Dónde:

PIRE: Potencia isotrópica de radiación efectiva

Pt: Potencia de Transmisión

Pc: Pérdida en los cables y conectores

Ga: Ganancia de la Antena

3.2.4. Medición de pérdidas por atenuación en las líneas de transmisión

Para fines de análisis, las líneas de transmisión se consideran con frecuencia sin pérdidas. Sin embargo, en realidad hay varias formas en las que se pierde la energía en una línea de transmisión. Están las pérdidas en el conductor, pérdidas por radiación, pérdidas por calentamiento del dieléctrico, pérdidas por acoplamiento.

Según especificaciones técnicas en los conectores tenemos una pérdida de 0.5dB

3.2.5. Medición de pérdidas en el espacio libre

Para determinar la potencia recibida, atenuada, en un radioenlace, se consideran las antenas transmisora y receptora y el

espacio que las separa, obteniéndose la ecuación de transmisión de Friis en el espacio libre.

$$L_{fs} = 92,4 + 20 \log D + 20 \log F$$

Dónde:

L_{fs} es la pérdida en el espacio libre en dB

D es la Distancia en Km

F es la Frecuencia en GHz

3.2.6. Medición de la Zona de Fresnel

Tanto en óptica como en comunicaciones por radio o inalámbricas, la zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas.

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{D1 * D2}{D * F}}$$

Dónde:

r es el radio de la primera zona de Fresnel en M.

D1 es la distancia desde el transmisor al obstáculo en Km.

D2 es la distancia desde el obstáculo al receptor en Km.

D es la distancia total del enlace en Km.

F es la frecuencia en GHz.

3.2.7. Determinación de la confiabilidad y tiempo de interrupción del Radioenlace

La confiabilidad de un radioenlace sirve como objetivo para determinar el Margen de Desvanecimiento según la siguiente tabla:

| Confiabilidad (%) | Tiempo de Interrupción (%) | Año (horas) | Tiempo de interrupción por mes (horas) | Día (horas) |
|-------------------|----------------------------|-------------|--|-------------|
| 0 | 100 | 8760 | 720 | 24 |
| 50 | 50 | 4380 | 360 | 12 |
| 80 | 20 | 1752 | 144 | 4.8 |
| 90 | 10 | 876 | 72 | 2.4 |
| 95 | 5 | 438 | 36 | 1.2 |
| 98 | 2 | 175 | 14 | 29 min |

| | | | | |
|---------|--------|---------|---------|-----------|
| 99 | 1 | 88 | 7 | 14.4 min |
| 99.9 | 0.1 | 8.8 | 43 min | 1.44 min |
| 99.99 | 0.01 | 53 min | 4.3 min | 8.6 seg |
| 99.999 | 0.001 | 5.3 min | 26 seg | 0.86 seg |
| 99.9999 | 0.0001 | 32 seg | 2.6 seg | 0.086 seg |

3.2.8. Medición del margen de desvanecimiento

En esencia, el margen es un factor “espurio” que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por trayectorias múltiples y la sensibilidad del terreno.

$$F_m = 30 \text{ Log } D + 10 \text{ Log}(6ABF) - 10 \text{ Log}(1 - R) - 70$$

Dónde:

F_m es el margen de desvanecimiento en dB

D es la Distancia en Km

F es la Frecuencia en GHz

R confiabilidad en tanto por uno (99,99%=0,9999)

1-R es el objetivo de confiabilidad para una ruta de 400Km en un sentido

A es el factor de rugosidad del terreno

A=4 sobre agua o sobre terreno muy liso

A=1 sobre un terreno promedio

A=0,25 terreno áspero y montañoso

B es el factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual.

B=1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual

B=0,5 para áreas calientes y húmedas

B=0,25 áreas continentales promedio

B=0,125 áreas muy secas o montañosas

3.2.9. Medición de la potencia recibida

La potencia de recepción debe de tener como mínimo 17 dB de diferencia entre el margen de desvanecimiento.

Cálculo del nivel de recepción.

$$Pr = Pt - Pc + Gt - Lp + Gr - Pc$$

Dónde:

Pt es la Potencia de Transmisión

Pc es la pérdida en conectores y cables

Gt es la Ganancia de la antena de transmisión

Lp es la pérdida en el espacio libre

Gr es la Ganancia en la antena receptora

3.2.10. Determinación de la orientación y altura de las antenas

Para determinar la orientación de las antenas para una mejor recepción de señal se consideran las fórmulas que se mencionan a continuación:

Calculo del Azimut

$$Azimut = \tan^{-1} \left(\frac{LongA - LongB}{LatA - LatB} \right)$$

Cálculo de la Elevación

$$Elevacion = \tan^{-1} \left(\frac{AltA - AltB}{D} \right)$$

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RADIOENLACES

CAPITULO IV

4.1. CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA UTILIZADO POR CADA CÁMARA

Uso de calculadora de Ancho de Banda y Almacenamiento de la marca ACTI, versión 1.1.0 para las cámaras de video vigilancia de 3 y 5 Megapíxeles de las siguientes estaciones:

- ESTACION FOLCHE

The screenshot shows the ACTI Bandwidth and Storage Calculator interface. It is titled "Calculadora de Ancho de Banda y Almacenamiento". The interface is in Spanish and shows the following details:

- Paso 1:** "Diferentes maneras de manejar el plan de almacenamiento:" with a dropdown menu set to "¿Por cuánto tiempo se puede almacenar el video?". "Espacio de Almacenamiento (TB)" is set to 1.
- Paso 2:** "Datos calculados exitosamente". A table lists the camera configurations:

| Incluir | Número de Cámaras | Resolución | Número de Cuadros | Compresión | Calidad del Video | Tasa de transferencia de cada cámara (Mbps) | Horas de grabación por día | Agregar |
|-------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|---|----------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 | 3MP | 30 fps | H.264 | Excelente | Tasa de Transferencia : 4 Mbps | 24 | Eliminar |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 | 5MP | 30 fps | H.264 | Excelente | Tasa de Transferencia : 6 Mbps | 24 | Eliminar |

Resultado del Cálculo

- Total de Cámaras: 5
- Total Ancho de Banda: 24 Mbps
- Mantener Videos Almacenados: 4 Días
- Export

Figura 44: Ancho de banda para la cámara de la Estación Folche.

- ESTACION 172

The screenshot shows the ACTI Bandwidth and Storage Calculator interface for Estación 172. It is titled "Calculadora de Ancho de Banda y Almacenamiento". The interface is in Spanish and shows the following details:

- Paso 1:** "Diferentes maneras de manejar el plan de almacenamiento:" with a dropdown menu set to "¿Por cuánto tiempo se puede almacenar el video?". "Espacio de Almacenamiento (TB)" is set to 1.
- Paso 2:** "Datos calculados exitosamente". A table lists the camera configurations:

| Incluir | Número de Cámaras | Resolución | Número de Cuadros | Compresión | Calidad del Video | Tasa de transferencia de cada cámara (Mbps) | Horas de grabación por día | Agregar |
|-------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|---|----------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 | 3MP | 30 fps | H.264 | Excelente | Tasa de Transferencia : 4 Mbps | 24 | Eliminar |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 5MP | 30 fps | H.264 | Excelente | Tasa de Transferencia : 6 Mbps | 24 | Eliminar |

Resultado del Cálculo

- Total de Cámaras: 3
- Total Ancho de Banda: 14 Mbps
- Mantener Videos Almacenados: 7 Días
- Export

Figura 45: Ancho de banda para la cámara de la Estación 172.

- ESTACION VALVULA N°1

Calculadora de Ancho de Banda y Almacenamiento

Version: 1.1.0 Data: 2014/09/09 Verificar Actualización

Paso 1

Diferentes maneras de manejar el plan de almacenamiento: ¿Por cuánto tiempo se puede almacenar el video? ▾

Espacio de Almacenamiento (TB) 1

Paso 2 (Datos calculados exitosamente)

| Incluir | Número de Cámaras | Resolución | Número de Cuadros | Compresión | Calidad del Video | Tasa de transferencia de cada cámara (Mbps) | Horas de grabación por día | Agregar |
|-------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|---|----------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 3MP ▾ | 30 fps ▾ | H.264 | Excelente ▾ | Tasa de Transferencia : 4 Mbps | 24 ▾ | Eliminar |

Resultado del Cálculo

Total de Cámaras: 1

Total Ancho de Banda: 4 Mbps

Mantener Videos Almacenados: 24 Días

Export

Figura 46: Ancho de banda para la cámara de la Estación Válvula N°1.

- ESTACION VALVULA N°2

Calculadora de Ancho de Banda y Almacenamiento

Version: 1.1.0 Data: 2014/09/09 Verificar Actualización

Paso 1

Diferentes maneras de manejar el plan de almacenamiento: ¿Por cuánto tiempo se puede almacenar el video? ▾

Espacio de Almacenamiento (TB) 1

Paso 2 (Datos calculados exitosamente)

| Incluir | Número de Cámaras | Resolución | Número de Cuadros | Compresión | Calidad del Video | Tasa de transferencia de cada cámara (Mbps) | Horas de grabación por día | Agregar |
|-------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|---|----------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 3MP ▾ | 30 fps ▾ | H.264 | Excelente ▾ | Tasa de Transferencia : 4 Mbps | 24 ▾ | Eliminar |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 5MP ▾ | 30 fps ▾ | H.264 | Excelente ▾ | Tasa de Transferencia : 6 Mbps | 24 ▾ | Eliminar |

Resultado del Cálculo

Total de Cámaras: 2

Total Ancho de Banda: 10 Mbps

Mantener Videos Almacenados: 10 Días

Export

Figura 47: Ancho de banda para la cámara de la Estación Válvula N°2.

4.2. CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA UTILIZADO EN CADA RADIOENLACE

4.2.1. Cálculo para el Radioenlace Estación 59 - Patio de Tanques PTT

Para el cálculo de este radioenlace se toma las especificaciones técnicas del Radio RADWIN modelo RW-2050-D200 y Antenas HYPERLINK modelo HG4958DP-34D-R.

En la siguiente tabla se muestran los cálculos matemáticos realizados para este enlace:

| 1.- Parámetro | 2.- Símbolo | 3.- Estación 59 | 4.- Tanques PTT | 5.- Unidades |
|--------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------|
| 6.- Distancia entre los puntos | 7.- D | 8.- 9.687 | | 9.- Km |
| 10.- Alcance Máximo | 11.- Ar | 12.- 486.509 | 13.- 486.509 | 14.- Km |
| 15.- PIRE | 16.- PIRE | 17.- 56 | 18.- 56 | 19.- dBm |
| 20.- Pérdidas en Espacio Libre | 21.- Lfs | 22.- 127.434 | 23.- 127.434 | 24.- dB |
| 25.- Zona de Fresnel | 26.- r | 27.- 6.75 | 28.- 6.75 | 29.- m |
| 30.- Ganancia del Sistema | 31.- Pr | 32.- -40.434 | 33.- -40.434 | 34.- dB |
| 35.- Margen de Desvanecimiento | 36.- Fm | 37.- 31.979 | 38.- 31.979 | 39.- dB |
| 40.- Ángulo Azimut | 41.- | 42.- - 18.255 | 43.- 161.745 | 44.- ° |
| 45.- Ángulo de Elevación | 46.- | 47.- - 61.735 | 48.- 61.735 | 49.- ° |
| 50.- Ancho de Banda Requerido | 51.- BW | 52.- 0.106 | | 53.- Mbps |
| 54.- Confiabilidad | 55.- d | 56.- 99.999 | | 57.- % |

Los resultados de la simulación vía Software R-Planner para este radioenlace se muestran a continuación:

| 58.- Family | 59.- CB W | 60.- Distancia | 61.- Polar | 62.- Servicio | 63.- Disponibilidad | 64.- Frecuencia |
|-------------|-------------|----------------|------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------|
| 65.- RW2000 | 66.- 20 MHz | 67.- 9.66 Km | 68.- Dual | 69.- Link Service A/B: 10/10 Mbps | 70.- 99.9993% | 71.- 5800 MHz |

| 72.- Properties | 73.- Estación 59 | 74.- Patio Tanques Tablazo |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| 75.- Init Name | 76.- ODU | 77.- ODU |
| 78.- Height above | 79.- 36 m | 80.- 124 m |
| 81.- Antenna | 82.- 21 m | 83.- 39 m |
| 84.- Regulation | 85.- 5.8 GHz <i>FCC/IC</i> | 86.- 5.8 GHz <i>FCC/IC</i> |
| 87.- Product ID | 88.- RW2000/ODU/A/F58/FCC/EX | 89.- RW2000/ODU/A/F58/FCC/EX |
| 90.- Antenna | 91.- HG4958DP-34D-R | 92.- HG4958DP-34D-R |
| 93.- Rate | 94.- 52 Mbps | 96.- 39 Mbps |
| 98.- TX Power | 99.- 24 dBm | 100.- 19 dBm |
| 101.- EIRP | 102.- 54 dBm | 103.- 49 dBm |

| | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 104.- RSSI | 105.- -53.4 dBm | 106.- -48.4 dBm |
| 107.- Fade | 108.- 29.6 dB | 109.- 32.6 dB |
| 110.- HSS | 111.- INU | 112.- HSC |
| 113.- Azimuth | 114.- 341.8° | 115.- 161.8° |
| 116.- Elevation | 117.- 0.1° | 118.- -0.1° |

En la siguiente figura se muestra el perfil de elevación del enlace entre las estación 59 y Patio de Tanques Tablazo simulado de acuerdo a los parámetros ingresados para el enlace, donde se observa la zona Fresnel con respecto al perfil topográfico de la zona.

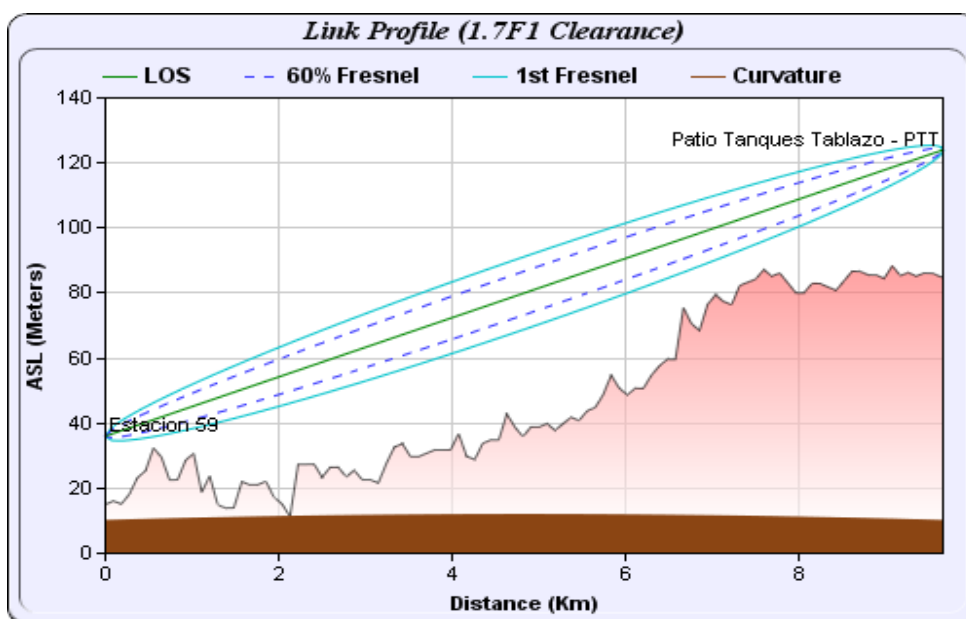


Figura 48: Zona de Fresnel para el Radioenlace PTT y Estación 59.

4.2.2. Cálculos para el Radioenlace Patio de Tanques PTT – Folche

Para el cálculo de este radioenlace se toma las especificaciones técnicas del Radio RADWIN modelo RW-2050-D200 y Antenas HYPERLINK modelo HG4958DP-34D-R.

En la siguiente tabla se muestran los cálculos matemáticos realizados para este enlace:

| 119.- | Parámetro | 120.- Símbolo | 121.- Folche | 122.- Estación 172 | 123.- Unidades |
|-------|----------------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 124.- | Distancia entre los puntos | 125.- D | 126.- 17.077 | 127.- Km | |
| 128.- | Alcance Máximo | 129.- Ar | 130.- 45 0.42 | 131.- 450.4 2 | 132.- Km |
| 133.- | PIRE | 134.- PI RE | 135.- 56 | 136.- 56 | 137.- dB m |
| 138.- | Pérdidas en espacio Libre | 139.- Lfs | 140.- 13 2.367 | 141.- 132.3 67 | 142.- dB |

| | | | | |
|---------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------|
| 143.- Zona de Fresnel | 144.- r | 145.- 10 .595 | 146.- 10.59 5 | 147.- M |
| 148.- Potencia Recibida | 149.- Pr | 150.- - 45.367 | 151.- - 45.367 | 152.- dB |
| 153.- Margen de Desvanecimiento | 154.- Fm | 155.- 39 .378 | 156.- 39.37 8 | 157.- dB |
| 158.- Ángulo Azimut | 159.- | 160.- 17 .533 | 161.- 197.5 33 | 162.- ° |
| 163.- Ángulo de Elevación | 164.- | 165.- 50 .883 | 166.- - 50.883 | 167.- ° |
| 168.- Ancho de Banda Requerido | 169.- B W | 170.- 24.32 | 171.- Mb ps | |
| 172.- Confiabilidad | 173.- d | 174.- 99.999 | 175.- % | |

Los resultados de la simulación vía Software R-Planner para este radioenlace se muestran a continuación:

| 176.- amily | 177.- BW | 178.- D istance | 179.- olar | 180.- S ervice | 181.- A vailabilit y | 182.- F requen cy | 183. FP |
|-------------|-------------|--------------------|------------|---|----------------------------|-------------------------|------------|
| 184.- W2000 | 185.- 0 MHz | 186.- 1 7.04 Km | 187.- ual | 188.- L ink Service A/B: 75.8/75.8 Mbps | 189.- 9 9.9994% | 190.- 5 800 MHz | 191.- |

| 192.- Properties | 193.- Patio Tanques | 194.- Folche |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| 195.- Unit Name | 196.- ODU | 197.- ODU |
| 198.- Height | 199.- 130 m | 200.- 164 m |
| 201.- Antenna | 202.- 45 m | 203.- 21 m |
| 204.- Regulation | 205.- 5.8 GHz FCC/IC | 206.- 5.8 GHz FCC/IC |
| 207.- Product ID | 208.- RW2000/ODU/DP/F58/ | 209.- RW2000/ODU/DP/F58/ |
| 210.- Antenna | 211.- HG4958DP-34D-R | 212.- HG4958DP-34D-R |
| 213.- Rate | 214.- 195.11 Mbps | 216.- 195.11 Mbps |
| 218.- TX Power | 219.- 25 dBm | 220.- 25 dBm |
| 221.- EIRP | 222.- 59 dBm | 223.- 59 dBm |
| 224.- RSSI | 225.- -48.1 dBm | 226.- -48.1 dBm |
| 227.- Fade Margin | 228.- 27.9 dB | 229.- 27.9 dB |
| 230.- HSS | 231.- INU | 232.- HSC |
| 233.- Azimuth | 234.- 17.5° | 235.- 197.5° |
| 236.- Elevation | 237.- -0.1° | 238.- 0.1° |

En la siguiente figura, se muestra el perfil de elevación del enlace entre Patio de Tanques Tablazo y Folche simulado de acuerdo a los parámetros ingresados para el enlace, donde se observa la zona Fresnel con respecto al perfil topográfico de la zona, destacando la línea vista entre los dos puntos

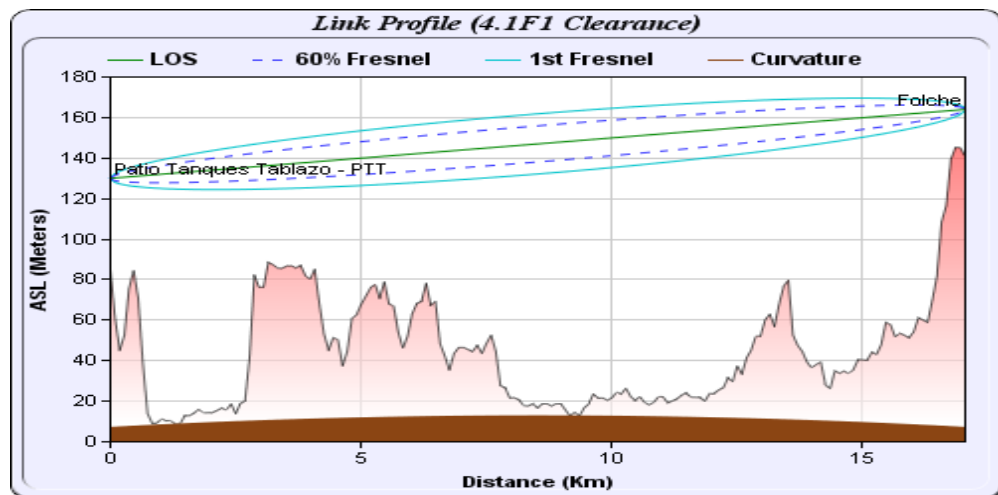


Figura 49: Zona de Fresnel para el Radioenlace PTT y Folche.

4.2.3. Cálculos para el Radioenlace Folche – Estación 172

Para el cálculo de este radioenlace se toma las especificaciones técnicas del Radio RADWIN modelo RW-2050-B350 y Antenas HYPERLINK modelo HG4958DP-34D-R

En la siguiente tabla se muestran los cálculos matemáticos realizados para este enlace:

| 239.- | Parámetro | 240.- Símbolo | 241.- Folche | 242.- Estación 172 | 243.- Unidades |
|-------|----------------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 244.- | Distancia entre los puntos | 245.- D | 246.- 8.876 | 247.- | Km |
| 248.- | Alcance Máximo | 249.- Ar | 250.- 21 6.375 | 251.- 216.3 75 | 252.- Km |
| 253.- | PIRE | 254.- PI RE | 255.- 56 | 256.- 56 | 257.- dB m |
| 258.- | Pérdidas en espacio Libre | 259.- Lfs | 260.- 12 6.683 | 261.- 126.6 83 | 262.- dB |
| 263.- | Zona de Fresnel | 264.- r | 265.- 10. 595 | 266.- 10.59 5 | 267.- M |
| 268.- | Potencia Recibida | 269.- Pr | 270.- - 39.683 | 271.- - 39.683 | 272.- dB |
| 273.- | Margen de Desvanecimiento | 274.- Fm | 275.- 30. 852 | 276.- 30.85 2 | 277.- dB |
| 278.- | Ángulo Azimut | 279.- | 280.- - 1.113 | 281.- 45.39 7 | 282.- ° |
| 283.- | Ángulo de Elevación | 284.- | 285.- 17 8.887 | 286.- 45.397 | 287.- ° |
| 288.- | Ancho de Banda Requerido | 289.- B W | 290.- 14.21652 | 291.- | Mb ps |
| 292.- | Confiability | 293.- d | 294.- 99.999 | 295.- | % |

Los resultados de la simulación vía Software R-Planner para este radioenlace se muestran a continuación:

| 296.- Family | 297.- C BW | 298.- Distance | 299.- Polar | 300.- Service | 301.- Availability | 302.- Frequency | 303.- FP |
|--------------|--------------|----------------|-------------|------------------------------------|--------------------|-----------------|----------|
| 304.- RW2000 | 305.- 20 MHz | 306.- 8.8 Km | 307.- Dual | 308.- Link Service A/B: 29/29 Mbps | 309.- 99.9 996% | 310.- 5800 MHz | 311.- E |

| 312.- Properties | 313.- Estación 172 | 314.- Folche |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| 315.- Unit Name | 316.- ODU | 317.- ODU |
| 318.- Height | 319.- 33 m | 320.- 155 m |
| 321.- Antenna | 322.- 12 m | 323.- 12 m |
| 324.- Regulation | 325.- 5.8 GHz FCC/IC | 326.- 5.8 GHz FCC/IC |
| 327.- Product ID | 328.- RW2000/ODU/B/F58/F | 329.- RW2000/ODU/B/F58/F |
| 330.- Antenna | 331.- HG4958DP-34D-R | 332.- HG4958DP-34D-R |
| 333.- Rate | 334.- 78 Mbps | 336.- 78 Mbps |
| 338.- TX Power | 339.- 21 dBm | 340.- 21 dBm |
| 341.- EIRP | 342.- 55 dBm | 343.- 55 dBm |
| 344.- RSSI | 345.- -46.5 dBm | 346.- -46.5 dBm |
| 347.- Fade Margin | 348.- 30.5 dB | 349.- 30.5 dB |
| 350.- HSS | 351.- INU | 352.- HSC |
| 353.- Azimuth | 354.- 358.9° | 355.- 178.9° |
| 356.- Elevation | 357.- 0° | 358.- 0° |

En la siguiente figura, se muestra el perfil de elevación del enlace entre Folche y la Estación 172 simulado de acuerdo a los parámetros ingresados para el enlace, donde se observa la zona Fresnel con respecto al perfil topográfico de la zona, destacando la línea vista entre los dos puntos.

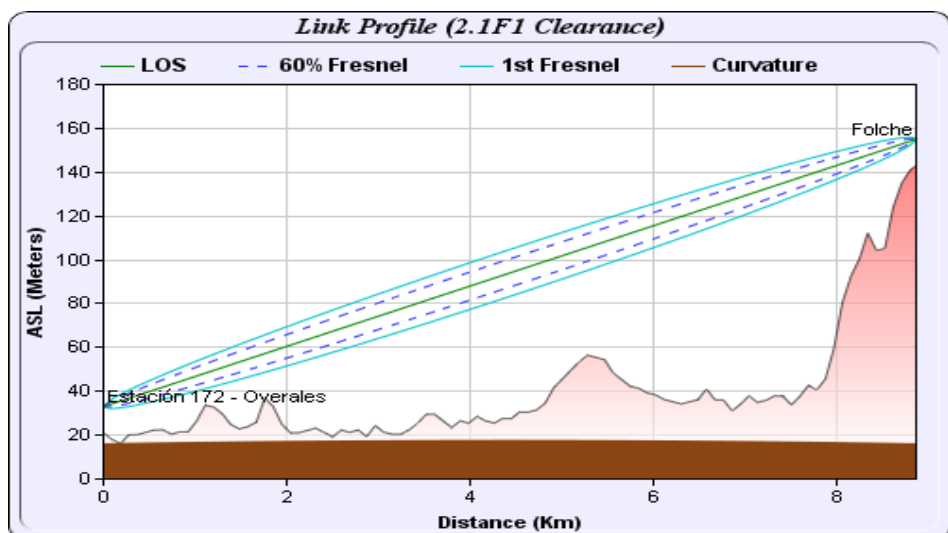


Figura 50: Zona de Fresnel para el Radioenlace Folche y Estación 172.

4.2.4. Cálculos para el Radioenlace Estación 172 – Válvula 1

Para el cálculo de este radioenlace se toma las especificaciones técnicas del Radio RADWIN modelo RW-2050-A225 y Antenas HYPERLINK modelo HG4958DP-30D-R

En la siguiente tabla se muestran los cálculos matemáticos realizados para este enlace:

| 359.- | Parámetro | 360.- Símbolo | 361.- Estación 172 | 362.- Válvula 1 | 363.- Unidades |
|-------|----------------------------|---------------|--------------------|-----------------|----------------|
| 364.- | Distancia entre los puntos | 365.- D | 366.- 2.44 | 367.- Km | |
| 368.- | Alcance Máximo | 369.- Ar | 370.- 176.669 | 371.- 176.669 | 372.- Km |
| 373.- | PIRE | 374.- PIRE | 375.- 52 | 376.- 52 | 377.- dBm |
| 378.- | Pérdidas en espacio Libre | 379.- Lfs | 380.- 115.467 | 381.- 115.467 | 382.- dB |
| 383.- | Zona de Fresnel | 384.- r | 385.- 2.331 | 386.- 2.331 | 387.- M |
| 388.- | Potencia Recibida | 389.- Pr | 390.- 43.467 | 391.- 43.467 | 392.- dB |
| 393.- | Margen de Desvanecimiento | 394.- Fm | 395.- 14.028 | 396.- 14.028 | 397.- dB |
| 398.- | Ángulo Azimut | 399.- | 400.- 77.843 | 401.- 257.843 | 402.- ° |
| 403.- | Ángulo de Elevación | 404.- | 405.- 50.876 | 406.- 50.876 | 407.- ° |
| 408.- | Ancho de Banda Requerido | 409.- B W | 410.- 14.10937 | 411.- 14.10937 | 412.- Mbps |
| 412.- | Confiabilidad | 413.- d | 414.- 99.999 | 415.- 99.999 | 416.- % |

Los resultados de la simulación vía Software R-Planner para este radioenlace se muestran a continuación:

| 416.- Family | 417.- CBW | 418.- Distance | 419.- Polar | 420.- Service | 421.- Availability |
|--------------|--------------|----------------|-------------|--|--------------------|
| 424.- RW2000 | 425.- 20 MHz | 426.- 2.43 Km | 427.- Dual | 428.- Link Service A/B: 20.5/20.5 Mbps | 429.- 100% |

| | | | | | |
|-------|------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|
| 432.- | Properties | 433.- | Estación 172 | 434.- | Válvula 1 |
| 435.- | Unit Name | 436.- | ODU | 437.- | ODU |
| 438.- | Height above Sea | 439.- | 30 m | 440.- | 43 m |
| 441.- | Antenna Height | 442.- | 9 m | 443.- | 15 m |
| 444.- | Regulation | 445.- | 5.8 GHz FCC/IC | 446.- | 5.8 GHz FCC/IC |
| 447.- | Product ID | 448.- | RW2000/ODU/A/F58/FCC/EXT/25M | 449.- | RW2000/ODU/A/F58/FCC/EXT/25M |
| 450.- | Antenna | 451.- | HG4958DP-30D-R | 452.- | HG4958DP-30D-R |
| 453.- | Rate | 454.- | 52 Mbps | 456.- | 52 Mbps |
| 458.- | TX Power | 459.- | 18 dBm | 460.- | 18 dBm |
| 461.- | EIRP | 462.- | 48 dBm | 463.- | 48 dBm |
| 464.- | RSSI | 465.- | -42.4 dBm | 466.- | -42.4 dBm |
| 467.- | Fade Margin | 468.- | 38.6 dB | 469.- | 38.6 Db |
| 470.- | HSS | 471.- | INU | 472.- | HSC |
| 473.- | Azimuth | 474.- | 77.8° | 475.- | 257.8° |
| 476.- | Elevation | 477.- | 0.1° | 478.- | -0.1° |

En la siguiente figura, se muestra el perfil de elevación del enlace entre Estación 172 y Válvula N°1, simulado de acuerdo a los parámetros ingresados para el enlace, donde se observa la zona Fresnel con respecto al perfil topográfico de la zona, destacando la línea vista entre los dos puntos.

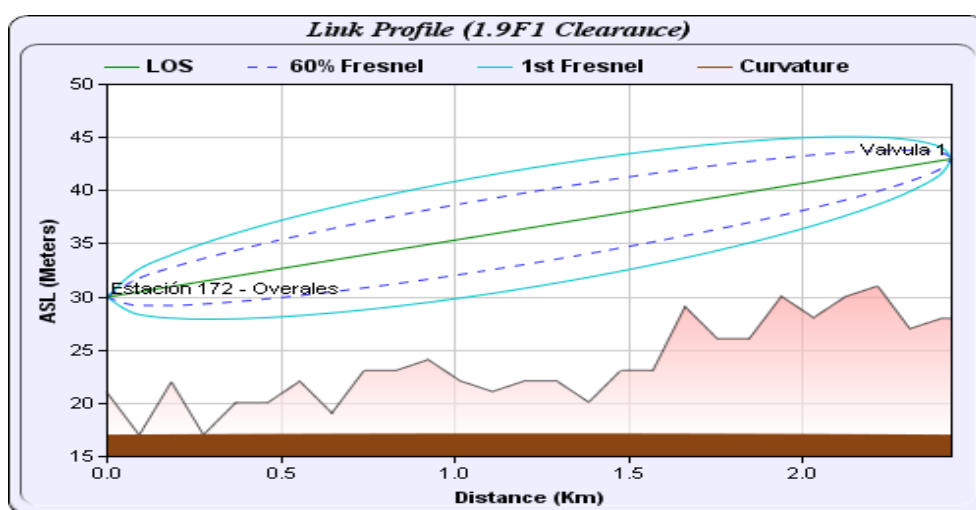


Figura 51: Zona de Fresnel para el Radioenlace Estación 172 y válvula N°1.

4.2.5. Cálculos para el Radioenlace Válvula 1 – Válvula 2

Para el cálculo de este radioenlace se toma las especificaciones técnicas del Radio RADWIN modelo RW-2050-A125 con Antena Integrada.

En la siguiente tabla se muestran los cálculos matemáticos realizados para este enlace:

| 479.- | Parámetro | 480.- Símbolo | 481.- Válvula 1 | 482.- Válvula 2 | 483.- Unidades |
|-------|----------------------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 484.- | Distancia entre los puntos | 485.- D | 486.- 1.327 | 487.- Km | |
| 488.- | Alcance Máximo | 489.- Ar | 490.- 102 | 491.- 102 | 492.- Km |
| 493.- | PIRE | 494.- PIRE | 495.- 37.5 | 496.- 37.5 | 497.- dBm |
| 498.- | Pérdidas en espacio Libre | 499.- Lfs | 500.- 110.178 | 501.- 110.178 | 502.- dB |
| 503.- | Zona de Fresnel | 504.- R | 505.- 4.101 | 506.- 4.101 | 507.- M |
| 508.- | Potencia Recibida | 509.- Pr | 510.- 60.178 | 511.- 60.178 | 512.- dB |
| 513.- | Margen de Desvanecimiento | 514.- Fm | 515.- 6.094 | 516.- 6.094 | 517.- dB |
| 518.- | Ángulo Azimut | 519.- | 520.- 3.742 | 521.- 183.742 | 522.- ° |
| 523.- | Ángulo de Elevación | 524.- | 525.- 81.611 | 526.- 81.611 | 527.- ° |
| 528.- | Ancho de Banda Requerido | 529.- BW | 530.- 10.00586 | 531.- Mbps | |
| 532.- | Confiabilidad | 533.- D | 534.- 99.999 | 535.- % | |

Los resultados de la simulación vía Software R-Planner para este radioenlace se muestran a continuación:

| 536.- Family | 537.- C BW | 538.- Distance | 539.- Polar | 540.- Service | 541.- Availability | 542.- Frequency | 543.- RFP |
|---------------|--------------|----------------|-------------|--|--------------------|-----------------|-----------|
| 544.- R W2000 | 545.- 20 MHz | 546.- 1.3 Km | 547.- Dual | 548.- Link Service A/B: 10.1/10.1 Mbps | 549.- 100 % | 550.- 580 MHz | 551.- E |

| 552.- Properties | 553.- Válvula 2 | 554.- Válvula 1 |
|------------------|---------------------------|---------------------------|
| 555.- Unit Name | 556.- ODU | 557.- ODU |
| 558.- Height | 559.- 6 m | 560.- 40 m |
| 561.- Antenna | 562.- 6 m | 563.- 12 m |
| 564.- Regulation | 565.- 5.8 GHz FCC/IC | 566.- 5.8 GHz FCC/IC |
| 567.- Product ID | 568.- RW2000/ODU/A/F58/FC | 569.- RW2000/ODU/A/F58/FC |
| 570.- Antenna | 571.- INT 15.5 dBi | 572.- INT 15.5 dBi |
| 573.- Rate | 574.- 26 Mbps | 576.- 26 Mbps |
| 578.- TX Power | 579.- 18 dBm | 580.- 18 dBm |
| 581.- EIRP | 582.- 36.5 dBm | 583.- 36.5 dBm |
| 584.- RSSI | 585.- -61.1 dBm | 586.- -61.1 dBm |
| 587.- Fade | 588.- 24.9 dB | 589.- 24.9 dB |
| 590.- HSS | 591.- INU | 592.- HSM |
| 593.- Azimuth | 594.- 3.7° | 595.- 183.7° |
| 596.- Elevation | 597.- 0.3° | 598.- -0.3° |

En la siguiente figura, se muestra el perfil de elevación del enlace entre Válvula N°1 y Válvula N°2, simulado de acuerdo a los parámetros ingresados para el enlace, donde se observa la zona Fresnel con respecto al perfil topográfico de la zona, destacando la línea vista entre los dos puntos.

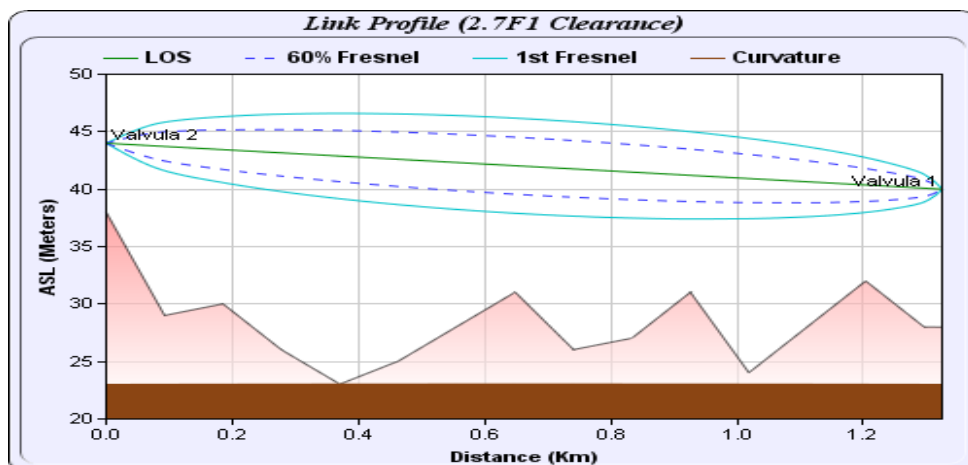


Figura 52: Zona de Fresnel para el Radioenlace Válvula N°1 y Válvula N°2.



Figura 53: Ubicación geográfica de las estaciones del sistema de Radioenlaces.

4.2.6. Cálculos para la altura de las torres

- Para temas de cálculo se considera la potencia máxima suministrada por el Equipo Transmisor que según especificaciones técnicas del Fabricante de los equipos seleccionados para el presente proyecto es de 25dBm por cada uno.
- La selección de la altura de las Torres se hizo considerando la Zona de Despeje (Clearance) calculada haciendo uso del software R-Planner considerando que para que exista buena comunicación esta debe ser 1.5 veces mayor que la Zona de Fresnel.
- La Sincronización de Radioenlaces posibilita despliegues densos con un rendimiento máximo. La sincronización evita la interferencia mutua entre unidades de radio muy cercanas y ahorra espectro y espacio de la torre para el presente caso se está considerando 2m de separación entre Antena de Enlace Principal con Enlace Redundante y un espacio de 1m entre Antena Transmisora y Retransmisora.

| ESTACIÓN PARAMETROS | ESTACION 59 | PATIO DE TANQUES | FOLCHE | ESTACION 172 | VALVULA 1 | VALVULA 2 |
|---|----------------|---------------------|------------|-----------------|--------------|--------------|
| Altura de Torre Semipesada | 27 m | 45 m | 21 m | 12 m | 15 m | 06 m |
| Altura de las Antenas Enlace Principal | 24 m | 40 m | 18 m | 9 m | 12 m | 03 m |
| Altura de las Antenas Enlace Redundante | 26 m | 42 m | 20 m | 11 m | 14 m | 05 m |
| Potencia de Tx Máxima | 25dBm | 25dBm | 25dBm | 25dBm | 25dBm | 25dBm |
| Frecuencia de Operación | 5.8GHz | 5.8GHz | 5.8GHz | 5.8GHz | 5.8GHz | 5.8GHz |
| Factor de Rugosidad (A) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Probabilidad Mensual (B) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Longitud Decimal | -81.250031 | -81.277264 | -81.231052 | -81.229503 | -81.208075 | -4.534889 |
| Latitud Decimal | -4.676725 | -4.594164 | -4.447888 | -4.527608 | -4.522992 | -4.534889 |
| Objetivo de Confiabilidad | 99.9999 | 99.9999 | 99.9999 | 99.9999 | 99.9999 | 99.9999 |

4.3. CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA TOTAL DE CADA ESTACIÓN

| ESTACION | SEÑALES | STARDOM | | FIRE & GAS | | SRU 504 | | CAMARAS | | ANCHO DE BANDA TOTAL | |
|--------------|----------|---------|---------|------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------------------|-----|
| VÁLVULA 2 | DIGITAL | 60 | señales | NO TIENE | | NO TIENE | | cámaras | 2 | 10.00586 MBps | |
| | ANALOG | 2 | señales | | | | | BW 3MP | 4194304 | | |
| | - | - | - | | | | | BW 5MP | 6291456 | | |
| | A. BANDA | 6140 | Bps | 0 | Bps | 0 | Bps | 10485760 | Bps | 10491900 | Bps |
| VÁLVULA 1 | DIGITAL | 60 | señales | NO TIENE | | 0 | señales | cámaras | 1 | 14.10937 MBps | |
| | ANALOG | 2 | señales | | | 12 | señales | BW 3MP | 4194304 | | |
| | A. BANDA | 6140 | Bps | 0 | bit/seg | 102400 | Bps | 4194304 | Bps | 14794744 | Bps |
| ESTACION 172 | DIGITAL | 90 | señales | 1 | señales | 0 | señales | NO TIENE | | 14.21652 MBps | |
| | ANALOG | 3 | señales | 1 | señales | 12 | señales | | | | |
| | A. BANDA | 8620 | Bps | 1340 | Bps | 102400 | Bps | 0 | Bps | 14907104 | Bps |
| FOLCHE | DIGITAL | 60 | señales | NO TIENE | | 0 | señales | cámaras | 2 | 24.32 MBPS | |
| | ANALOG | 3 | señales | | | 12 | señales | BW 3MP | 4194304 | | |
| | - | - | - | | | | | BW 5MP | 6291456 | | |
| | A. BANDA | 6220 | Bps | 0 | Bps | 102400 | Bps | 10485760 | Bps | 25501484 | Bps |
| ESTACION 59 | DIGITAL | 77 | señales | 2 | señales | 0 | señales | NO TIENE | | 0.106 MBPS | |
| | ANALOG | 3 | señales | 2 | señales | 12 | señales | | | | |
| | A. BANDA | 7580 | Bps | 1500 | Bps | 102400 | Bps | 0 | Bps | 111480 | Bps |

4.4. ELECCIÓN DE EQUIPOS

Para el presente Proyecto se ha elegido trabajar con equipos de la marca RADWIN cuyo portafolio de soluciones está diseñado para ofrecer Acceso a banda ancha empresarial con SLA garantizado. Son Equipos Carrier Class diseñados para Backhaul. Los radios propuestos tienen:

- Encriptación Propietaria AES 128; FIPS 197.
- Alta capacidad de transferencia hasta 750 Mbps.
- OFDM con MiMO y Diversidad permite la operación sin línea de vista.

OFDM es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK. Normalmente se realiza la multiplexación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión.

MIMO se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos como enrutadores. En el formato de transmisión inalámbrica tradicional la señal se ve afectada por reflexiones, lo que ocasiona degradación o corrupción de la misma y por lo tanto pérdida de datos. MIMO aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. En breves palabras MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial. Durante los últimos años la tecnología MIMO ha sido aclamada en las comunicaciones inalámbricas ya que aumenta significativamente la tasa de transferencia de información utilizando diferentes canales en la transmisión de datos o la Multiplexación espacial por tener las antenas físicamente separadas.

Equipos seleccionados:

Antena de 30 dBi

HG4958DP-30D es una antena con reflector de aluminio tipo Plato de doble polaridad con una ganancia de 30dBi y opera en las bandas de 4.9GHz y la gama de 5 GHz (5.1/5.3/5.4/5.8GHz).

Antena de 34 dBi

HG4958DP-34D es una antena con reflector de aluminio tipo Plato de doble polaridad con una ganancia de 34dBi y opera en las bandas de 4.9GHz y la gama de 5 GHz (5.1/5.3/5.4/5.8GHz).

Radio de 10 Mbps

RW-2050-A210 es un radio tipo Carrier Class, pertenece a la Serie A de Radwin 2000, soporta un rango de frecuencias 5.x GHz. Ofrece hasta 10 Mbps agregados. Este radio viene con 2 conectores tipo N para conectar antena externa.

Radio de 25 Mbps

RW-2050-A125 es un radio tipo Carrier Class, pertenece a la Serie A de Radwin 2000, soporta un rango de frecuencias de 4.9 - 5.9 GHz. Ofrece hasta 25 Mbps agregados. Este radio viene con una antena integrada de 15 dBi.

RW-2050-A225 es un radio tipo Carrier Class, pertenece a la Serie A de Radwin 2000, soporta un rango de frecuencias 5.x GHz. Ofrece hasta 25 Mbps agregados. Este radio viene con 2 conectores tipo N para conectar antena externa.

Radio de 50 Mbps

RW-2050-B350 es un radio tipo Carrier Class, pertenece a la Serie B de Radwin 2000, soporta un rango de frecuencias 5.x GHz. Ofrece hasta 50 Mbps agregado con un alcance de hasta 120Km. Este radio viene antena embebida de 15dBi y 2 conectores tipo N para conectar antena externa.

Radio de 750 Mbps

RW-2050-D200 es un radio tipo Carrier Class, pertenece a la Serie D-Plus de Radwin 2000, soporta un rango de frecuencias 5.x GHz. Ofrece hasta 750 Mbps agregados con un alcance de hasta 40Km. Este radio viene con 2 conectores tipo N para conectar antena externa.

El equipo utilizado para hacer el análisis del espectro de frecuencias, para los enlaces es:

- Analizador: WiSpy DBx
- Software: Chanalyzer
- Ambos de la marca METAGEEK

Para el Patio de Tanques Tablazo no existe actividad en la banda de frecuencia de 5 GHz, como se aprecia en la siguiente figura.

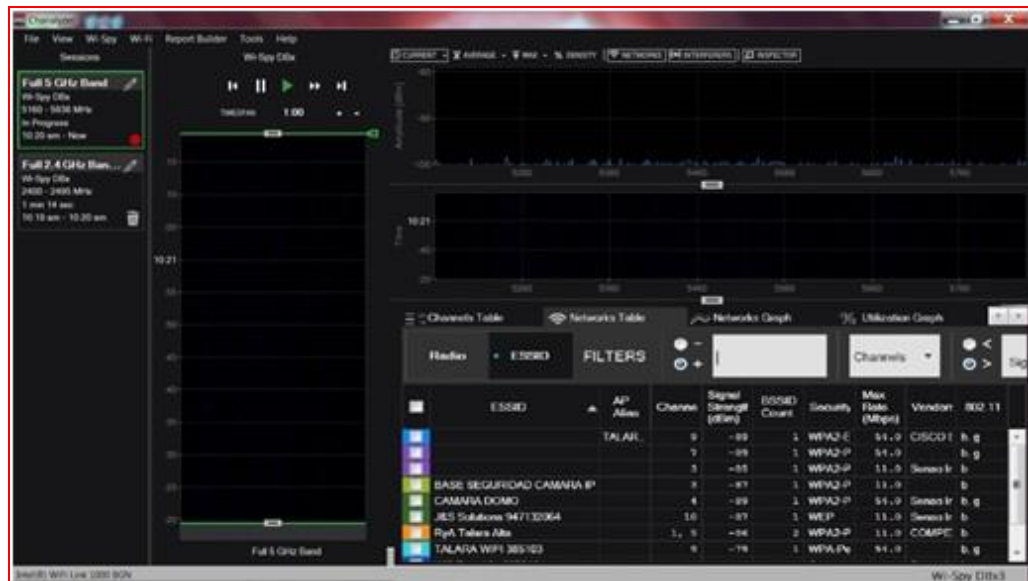


Figura 54: Análisis espectral de frecuencias (5GHz) – PTT.

Sin embargo en la banda de frecuencia 2.4 GHz, si podemos ver que existe actividad, como se indica en la siguiente figura.



Figura 55: Análisis espectral de frecuencias (2.4GHz) – PTT.

Esto se debe a que el uso de la banda de los 5GHz, regularmente se realiza para hacer enlaces troncales: Punto a Punto (PtP), más no así la banda de los 2.4GHz, que es muy utilizada en casi todos los enlaces WiFi y generalmente casi siempre para enlaces Punto a Multipunto (PtM).

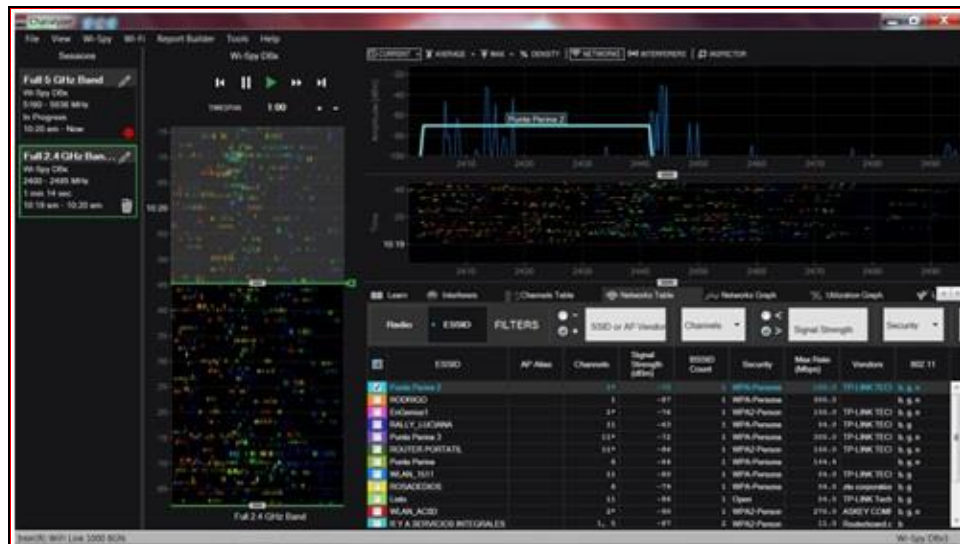


Figura 56: Actividad de la banda 2.4 GHZ en la ciudad de Talara.

En el siguiente cuadro se puede apreciar los niveles de potencia de cada localidad de acuerdo a la frecuencia de uso.

| Frequency | 2400000 | 2400333 | 2400666 | 2400999 | 2401332 | 2401665 |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Timestamp / Signal | dBm | dBm | dBm | dBm | dBm | dBm |
| 2014-12-09T10:19:16.185-05 | -117 | -100 | -83 | -81 | -101.5 | -101.5 |
| 2014-12-09T10:19:16.825-05 | -118 | -102 | -102 | -102 | -102.5 | -101.5 |
| 2014-12-09T10:19:17.335-05 | -116.5 | -94 | -101 | -100.5 | -101 | -101.5 |
| 2014-12-09T10:19:17.887-05 | -117.5 | -100.5 | -98 | -101 | -101 | -100.5 |
| 2014-12-09T10:19:18.426-05 | -117 | -101.5 | -99 | -101 | -100.5 | -100 |
| 2014-12-09T10:19:18.969-05 | -116.5 | -100.5 | -101 | -100.5 | -102 | -101 |
| 2014-12-09T10:19:19.575-05 | -115.5 | -100.5 | -100 | -102 | -102 | -102.5 |
| 2014-12-09T10:19:20.102-05 | -117 | -99 | -100.5 | -101 | -102 | -101.5 |
| 2014-12-09T10:19:20.704-05 | -117 | -98.5 | -100 | -101.5 | -101 | -100.5 |
| 2014-12-09T10:19:21.225-05 | -117 | -100 | -100 | -100 | -101 | -102 |
| 2014-12-09T10:19:21.771-05 | -118 | -101.5 | -102 | -102.5 | -102 | -103.5 |
| 2014-12-09T10:19:22.301-05 | -117.5 | -101.5 | -102.5 | -102.5 | -102 | -97.5 |
| 2014-12-09T10:19:22.922-05 | -117.5 | -102 | -101 | -100.5 | -102.5 | -102.5 |
| 2014-12-09T10:19:23.413-05 | -117.5 | -100.5 | -101 | -100.5 | -102 | -102 |
| 2014-12-09T10:19:24.049-05 | -117 | -101.5 | -101 | -101.5 | -101 | -101.5 |
| 2014-12-09T10:19:24.573-05 | -118 | -102 | -100 | -102 | -102 | -103 |
| 2014-12-09T10:19:25.176-05 | -118.5 | -101.5 | -101 | -102 | -102.5 | -102 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los cálculos se demuestra que el Ancho de Banda dimensionado (BW) es suficiente para transportar la información del sistema SCADA, Detección de Fuga y Video Vigilancia para algunas estaciones según topología diseñada en la ingeniería de detalle y el equipamiento seleccionado.
- De acuerdo a los cálculos matemáticos y la simulación vía software de cada radioenlace objeto del presente estudio se observa que son viables y cuentan con una reserva del 25% como mínimo.
- La redundancia utilizada para el presente proyecto ayuda a que el sistema de radioenlaces tenga una disponibilidad del 100% a no ser que exista falla en algún equipo componente del sistema de comunicación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se debe considerar que los equipos que administran los sensores del sistema SCADA como PLC tengan redundancia en la tarjeta Ethernet.
- Las Torres a suministrarse deben contar con cálculo estructural para soportar vientos de mínimo 100KPH.
- Se debe utilizar un método de sincronización en la transmisión y recepción de los radios con el fin de mitigar la interferencia.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Radioenlaces Terrestres y Microondas
http://www.redtauros.com/Clases/Medios_Transmision/04_Radioenlaces_Terrestres_Microondas_.pdf
- [2] Diseño y estudio de viabilidad de radioenlaces, Néstor Eduardo Polania Vargas.
<https://www.academia.edu/15816526/Radioenlace>
- [3] Tema 8: Radioenlaces Terrenales del servicio fijo, Juan José Murillo Fuentes.
<http://personal.us.es/murillo/docente/radio/documentos/tema8.pdf>
- [4] Redundancia y alta disponibilidad (I), Alan Briones Delgado.
<http://blogs.salleurl.edu/networking-and-internet-technologies/alta-redundancia-y-disponibilidad-i/>
- [5] Redundancia y alta disponibilidad (II): Parallel Redundancy Protocol, Alan Briones Delgado.
<http://blogs.salleurl.edu/networking-and-internet-technologies/redundancia-y-alta-disponibilidad-ii-parallel-redundancy-protocol/>
- [6] Redundancia y alta disponibilidad (III): Detección de duplicados en PRP, Alan Briones Delgado.
<http://blogs.salleurl.edu/networking-and-internet-technologies/redundancia-y-alta-disponibilidad-iii-deteccion-de-duplicados-en-prp/>
- [7] Prevención de fugas en instalaciones (I): Seguridad en proyecto, Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España. Redactado por Adolfo Pérez Guerrero – Ing. Industrial.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_363.pdf
- [8] Soluciones inalámbricas para todas las aplicaciones, EATON Powering Business Worldwide.
<http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/Wireless/Resources/Brochures/bus-wir-br-oil-gas-sp.pdf>
- [9] Sistemas de seguridad y vigilancia remota, Proyecta Consultoría.
<http://www.proyectaperu.com/svi2.pdf>
- [10] Sistemas de videovigilancia y Seguridad, TRedes.
http://www.tredess.com/sites/default/files/TRedess_vv_2014.pdf
- [11] LA VIDEOVIGILANCIA: TECNOLOGÍAS ACTUALES Y ASPECTOS SOCIOPOLÍTICOS, José García del Valle.