

Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial

Garazi Gonzalez Menendez
Grado en Tecnologías de Telecomunicación
Sistemas de Comunicación

Profesor colaborador: Nacho Gil
Profesor responsable: Germán Cobo

Resumen

Este proyecto pretende aportar el estudio necesario sobre el diseño a realizar en una comunicación de radioenlace entre dos plantas de la misma empresa, que se sitúan en pueblos contiguos y con línea de visión directa. Para ello, se han realizado los análisis teóricos y prácticos imprescindibles de un sistema de radiocomunicación, puesto que dan la información necesaria para poder observar la viabilidad de este trabajo.

Por otro lado, se analizan las especificaciones de los elementos principales y relevantes del sistema, como son las antenas, el cableado o el mástil, de modo que permitan conseguir la mejor comunicación y transmisión de la señal entre ambos edificios. De esta manera, y tras la búsqueda detallada en el mercado, se definen los componentes adecuados para el enlace.

Finalmente, mediante el uso de software como Google Earth y Radio Mobile, se realiza una simulación del sistema de radiocomunicación que permite visualizar los diferentes parámetros que se obtendrán en la antena receptora, teniendo en cuenta las características obtenidas en los análisis. Con ello, se consigue un diseño satisfactorio donde se cumplen los mínimos necesarios para la correcta recepción de la señal.

Abstract

This project aims to provide the necessary study on the design to be carried out in a radio link communication between two plants of the same company, which are located in adjoining villages and with direct line of sight. To this end, the theoretical and practical analyses of a radio communication system have been carried out, since they provide the necessary information to be able to observe the viability of this work.

On the other hand, the specifications of the main and relevant elements of the system, such as the antennas, the wiring or the mast, are analysed in order to achieve the best communication and signal transmission between the two buildings. In this way, and after a detailed search in the market, the appropriate components for the link are defined.

Finally, through the use of software such as Google Earth and Radio Mobile, a simulation of the radio communication system is carried out which allows the different parameters to be displayed on the receiving antenna, taking into account the characteristics obtained in the analyses. With this, a satisfactory design is achieved where the minimum necessary for the correct reception of the signal is met.

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Descripción del proyecto.....	7
1.2 Objetivos del proyecto.....	7
1.3 Objetivos generales y entregables.....	7
1.4 Planificación del proyecto.....	9
1.5 Riesgos del proyecto.....	10
1.6 Presupuesto del proyecto.....	11
2. ESTADO DE ARTE.....	12
2.1 Introducción.....	12
2.2 Definición del radioenlace.....	12
2.2.1 Elementos del radioenlace.....	14
2.2.2 Propagación de la señal.....	14
2.3 Sistema de comunicación actual entre plantas.....	16
2.3.1 Definición de MPLS.....	16
2.4 Radioenlace entre plantas.....	18
3. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA.....	21
3.1 Análisis.....	21
3.1.1 Análisis del radioenlace.....	21
3.1.1.1 Antenas.....	21
3.1.1.2 Cables.....	27
3.1.1.3 Conectores.....	28
3.1.1.4 Mástil.....	29
3.1.2 Atenuaciones y reflexiones.....	30
3.1.3 Cumplimiento de la ley.....	31
3.1.4 Análisis matemático.....	33
3.2 Diseño.....	38
3.2.1 Definición final de los elementos.....	38
3.2.2 Diseño del sistema.....	46
4. FUTUROS TRABAJOS.....	51
5. CONCLUSIONES.....	53
6. BIBLIOGRAFÍA.....	54
7. <i>Datasheet</i>	56
8. <i>Software</i>	56

Índice Figuras

<i>Figura 1 Frecuencias de telecomunicaciones.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2 Near Line of Sight, nLOS.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3 Line of Sight, LOS.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4 Escritura de la etiqueta</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5 Colocación de escritura de etiqueta.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6 Línea MPLS Zamudio-Derio.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7 Media de MPLS Zamudio-Derio</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8 Diagrama de radiación.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10 Antena bocina</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11 Antena plana</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13 Relación de atenuación en la zona Fresnel</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14 Perfil de elevación Zamudio-Derio.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15 Antena AF-5G23-S45.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 16 Configuración de las antenas</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18 Simulación del radioenlace Zamudio-Derio.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 19 Simulación del radioenlace Derio-Zamudio.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 20 Ubicación del radioenlace</i>	<i>47</i>
<i>Figura 21 Sistema de radioenlace</i>	<i>49</i>
<i>Figura 22 Configuración inalámbrica.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 24 Azimut y elevación de la antena de Zamudio</i>	<i>51</i>
<i>Figura 25 Conexión de la antena con AF-5X.....</i>	<i>52</i>

Índice Tablas

<i>Tabla 1 Tareas del proyecto.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2 Riesgos del proyecto.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3 Presupuesto del proyecto.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 4 PIRE máximo para 5.8 GHz.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5 Sensibilidad definida por ancho de banda</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 6 Capacidad máxima por ancho de banda.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 7 Atenuación del cable coaxial.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 8 Resumen de los valores principales del radioenlace</i>	<i>50</i>

Índice Ecuación

(1) Directividad.....	22
(2) Ganancia.....	22
(3) Impedancia característica.....	28
(4) Capacidad.....	28
(5) Atenuación por lluvia.....	30
(6) Alcance de la señal.....	33
(7) Alcance del proyecto.....	33
(8) Radio de la primera zona de Fresnel.....	34
(9) Señal a ruido.....	34
(10) Pérdidas de espacio.....	35
(11) Pérdidas de espacio (frecuencia).....	35
(12) Pérdidas de espacio del proyecto.....	36
(13) Potencia recibida.....	36
(14) Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE).....	37
(15) Discriminación por polarización cruzada.....	37
(16) PIRE del proyecto.....	42
(17) Potencia recibida.....	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del proyecto

Este trabajo pretende realizar el diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial, donde se analizará y realizará un sistema de comunicación por radioenlace entre dos plantas industriales de la misma empresa. Debido a la situación de las mismas se espera una buena comunicación, no por ello se debe olvidar la necesidad de realizar el análisis de viabilidad y obtener las características imprescindibles de los componentes del sistema.

1.2 Objetivos del proyecto

El objetivo final de este proyecto es la realización de un sistema de conexión por radiocomunicación entre dos pabellones situados en pueblos contiguos mediante una red interna, cual optimizará los costes de la transmisión de datos entre ambos. Esto es debido a que un sistema de radioenlace de microondas permite realizar un canal de comunicación interna donde no es necesario el alquiler y pago mensual de una empresa subcontrata de telecomunicaciones.

Por otro lado, se pretende conseguir una mejora en la velocidad de la transmisión de los datos actuales. Lo cual permitirá, un acceso más rápido a la información diaria que utilizan los usuarios de la compañía, facilitando el trabajo y consiguiendo una mayor eficiencia para la empresa.

1.3 Objetivos generales y entregables

La estructura del trabajo realizado se compone de los siguientes apartados:

FASE 1: 20/02/18 - 12/03/18 (20 días)

- ❖ **Definición del proyecto (20/02/18-26/02/18):** Se define el proyecto a realizar mediante una breve descripción, así como los objetivos que se quieren conseguir.

- ❖ **Planificación (27/02/18-04/03/18):** Se realiza la planificación de las etapas importantes del proyecto, definiendo las fechas de los diferentes hitos del que se compone el trabajo.
- ❖ **Análisis de riesgos (05/03/18-08/03/18):** Estudio de los posibles riesgos que pueden afectar al proyecto.
- ❖ **Investigación (09/03/18-10/03/18):** Búsqueda de información de cara a la consecución de los objetivos.
- ❖ **Repaso (11/03/18):** Se repasa el trabajo realizado para asegurarse su correcta ejecución.
- ❖ **Entrega (12/03/18):** Se realiza la entrega de la documentación de la primera fase del proyecto.

FASE 2: 13/03/18 – 09/04/18 (27 días)

- ❖ **Investigación (13/03/18-16/03/18):** Búsqueda de información sobre los elementos más importantes del sistema.
- ❖ **Redacción del Estado de Arte (17/03/18-07/04/18):** Se explicará la situación actual de la comunicación entre las dos plantas de la empresa y se realizará una descripción de la conexión a conseguir mediante la comunicación radioenlace.
- ❖ **Repaso (08/04/18):** Se repasa el trabajo realizado para asegurarse su correcta redacción.
- ❖ **Entrega (09/04/18):** Se realiza la entrega de la documentación del estado de arte.

FASE 3: 10/04/18 – 14/05/18 (34 días)

- ❖ **Análisis de los requisitos (10/04/18-23/04/18):** Estudio de los requisitos que deberá tener el sistema para que la comunicación sea óptima y cumpla con los mínimos establecidos. Para ello, se realizará el análisis matemático necesario, con el cual se obtendrán los resultados para una correcta elección de los elementos a utilizar.
- ❖ **Diseño del sistema (24/04/18-12/05/18):** Diagrama de implementación del sistema de radiocomunicación a realizar.
- ❖ **Repaso (13/05/18):** Se repasa el trabajo realizado para asegurarse su correcta redacción.
- ❖ **Entrega (14/05/18):** Se realiza la entrega del proyecto.

FASE 4: 15/05/18 – 18/06/18 (34 días)

- ❖ **Memoria (15/05/18-09/06/18):** Redacción definitiva de la memoria del proyecto a entregar.

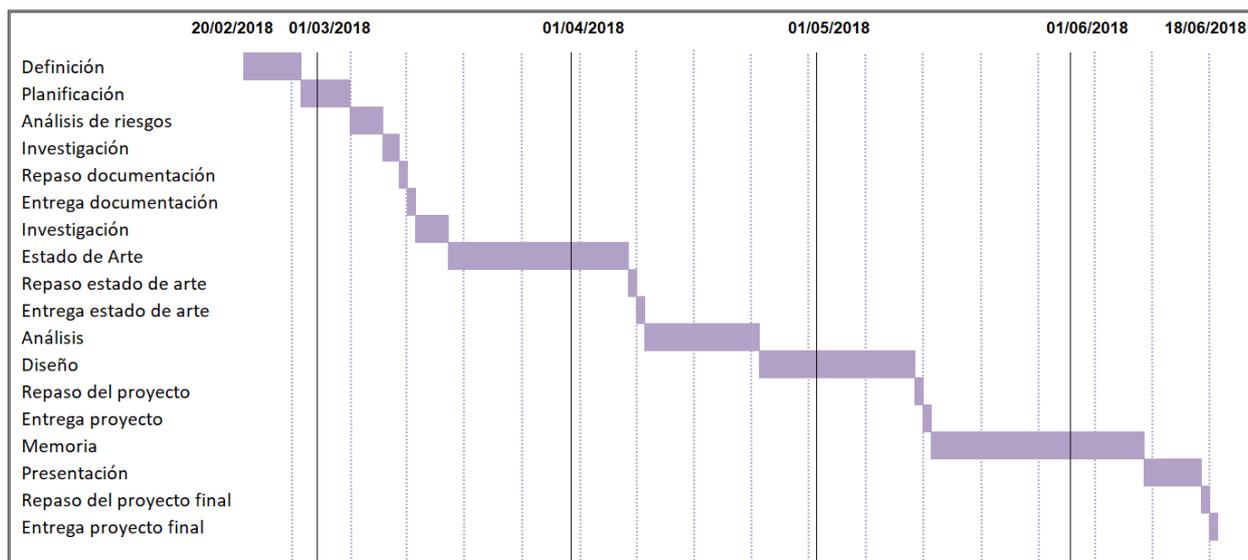
- ❖ **Presentación (10/06/18-16/06/18):** Preparación de la presentación a realizar ante el tribunal de evaluación.
- ❖ **Repaso (17/06/18):** Se repasa el proyecto final.
- ❖ **Entrega (18/06/18):** Se realiza la entrega del proyecto final.

1.4 Planificación del proyecto

La planificación del proyecto de radioenlace permite una organización correcta de la carga de trabajo que suponen las diferentes actividades, con el fin de realizar la entrega en el plazo acordado. Para ello, se tienen en cuenta principalmente los hitos (cuales conllevarán a la entrega de la documentación necesaria para cada fase del proyecto), así como la fecha final.

TAREA	FECHA DE INICIO	DURACIÓN (días)	FECHA FINAL
Definición	20/02/2018	7	26/02/2018
Planificación	27/02/2018	6	04/03/2018
Análisis de riegos	05/03/2018	4	08/03/2018
Investigación	09/03/2018	2	10/03/2018
Repaso documentación	11/03/2018	1	11/03/2018
Entrega documentación	12/03/2018	1	12/03/2018
Investigación	13/03/2018	4	16/03/2018
Estado de Arte	17/03/2018	22	07/04/2018
Repaso estado de arte	08/04/2018	1	08/04/2018
Entrega estado de arte	09/04/2018	1	09/04/2018
Análisis	10/04/2018	14	23/05/2018
Diseño	24/05/2018	19	12/05/2018
Repaso proyecto	13/05/2018	1	13/05/2018
Entrega proyecto	14/05/2018	1	14/05/2018
Memoria	15/05/2015	26	09/06/2018
Presentación	10/06/2018	7	16/06/2018
Repaso proyecto final	17/06/2018	1	17/06/2018
Entrega proyecto final	18/06/2018	1	18/06/2018

Tabla 1 Tareas del proyecto



Gantt 1 Diagrama de tareas

1.5 Riesgos del proyecto

A continuación, se detallan los posibles riesgos más significativos que se prevén para este proyecto, así como el análisis cuantitativo y cualitativo de los mismos. Por último, se ha planificado un breve plan de contingencia para cada uno de ellos:

Tipo de estimación	Justificación	Riesgo	Impacto	Contingencia
Coste	El cliente, o la empresa, modifica por motivo interno el presupuesto inicial asignado para el proyecto	Medio	Medio	Realizar una búsqueda avanzada de los materiales que se ajusten con el nuevo presupuesto, manteniendo las características principales de los mismos.
Tiempo	La climatología adversa dificulta la instalación de las antenas	Alto	Medio	Ajustar el calendario según las previsiones de última hora.
Gestión de calidad	El alcance de la señal no cumple los requisitos del cliente	Medio	Alto	Realizar los análisis teóricos con la mayor exactitud posible para poder acceder a una simulación válida.

Tabla 2 Riesgos del proyecto

1.6 Presupuesto del proyecto

El presupuesto definido para este proyecto tiene en cuenta tanto los recursos materiales, así como los recursos humanos. Para ello, se ha tenido en cuenta el trabajo del consultor principal como trabajador a cargo del proyecto, donde se le asigna principalmente la estimación temporal del inicio del proyecto, así como de las entregas de las diferentes fases. Por otro lado, al hacer el uso de *software* gratuitos, el coste de los mismos ha sido nulo.

Todo ello, se resume en la siguiente tabla:

Personal	Tarifa (€/hora)¹	Duración	Total (€)
Consultor Principal	65,68	25 h	1.642
Consultor Junior 1	45,21	200 h	9.042
Consultor Junior 2	45,21	200 h	9.042
Software	Coste	Duración	Total
Google Earth	0 €	120 h	0
Radio Mobile	0 €	114 h	0
Material	Coste	Cantidad	Total
Cableado	4,60 €/100 m	1 unid	4,60
Conectores	2,467 €/25 unid	1 unid	2,467
Mástil	11,22 €	1 unid	11,22
Antena ²	77,44 €	2 unid	154,88
Retransmisor de la portadora	317,25 €	2 unid	634,5
Total proyecto			20.533,667

Tabla 3 Presupuesto del proyecto

¹ Tarifa definida según Ingeniería de sistemas para la defensa de España S.A, ISDEFE: <https://www.isdefe.es/ckfinder/userfiles/files/Tarifas%20ISDEFE%202016.pdf>

² Distribuidor oficial Ubiquiti: <https://www.landashop.com/ubiquiti.html>

2. ESTADO DE ARTE

2.1 Introducción

Con el fin de conseguir un ahorro económico considerable en las comunicaciones realizadas entre dos de las plantas más cercanas de la misma empresa, se ha estudiado una alternativa de sistemas de comunicación. El uso de un sistema de radioenlace interno, evita la necesidad de subcontratar los servicios y el alquiler de los elementos de una empresa de telecomunicaciones externa.

En los siguientes apartados de este capítulo, se definen las características principales del radioenlace de una manera generalizada, donde se especifican las frecuencias y elementos que lo constituyen. Por otro lado, se plantea el estado actual de las comunicaciones de la empresa, así como el resultado que se quiere obtener con la implantación de la radiocomunicación.

2.2 Definición del radioenlace

Una comunicación radioenlace se define como cualquier interconexión realizada entre los terminales de telecomunicación mediante ondas electromagnéticas, a través de un medio no guiado, también llamadas STL, *Studio Transmitter Link* (Enlace Estudio Transmisor). La frecuencia en la que trabajan estas ondas, se sitúan en el rango de microondas, es decir, en el espectro de las altas frecuencias (de 300 MHz a 300 GHz) con una longitud de onda de entre 1 m a 1 mm, aunque lo más común es el uso de frecuencias súper elevadas (SFH, *Super High Frequency*) donde se superan los 3 GHz. Sobre esta información, se definen las dos frecuencias que se utilizan para la comunicación, siendo una para la portadora modulada de transmisión y otra para la otra portadora de recepción. Este concepto de comunicación, se define como comunicación de tipo dúplex, donde las frecuencias de emisión y recepción constituyen el radio canal.

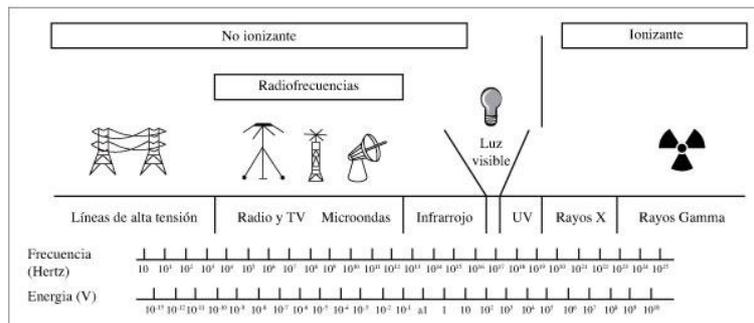


Figura 1 Frecuencias de telecomunicaciones
 Consultado en: <https://es.slideshare.net/iqoscarhernandez/msho-salud-ocupacional-radiaciones-no-ionizantes-equipo-tec-generacion-72>

En cuanto a la definición de un sistema de radiocomunicación, varía según las especificaciones utilizadas para los elementos en curso, esto es, existen diferentes tipos de comunicaciones según los terminales utilizados y la señal emitida.

- Teniendo en cuenta la ubicación del terminal:

Terrestre: todos los terminales se sitúan en la tierra, por lo tanto, se crean radioenlaces terrenales.

Satélite: mínimo uno de los repetidores se encuentra en satélite. Con ello, se generan radioenlaces espaciales o por satélite.

- Conforme al terminal:

Radioenlace de servicio móvil: comunicaciones realizadas mediante terminales móviles.

Radioenlace de servicio fijo: enlace creada entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre. Este sistema de comunicación realizada entre los 800 MHz y 42 GHz, facilita una capacidad de información con características de calidad y disponibilidad determinadas.

- Dependiendo de la señal emitida:

Analógica: fueron las primeras señales que se emitían y se consiguen con la modulación en frecuencia.

Digital: son más actuales que las analógicas y se crean mediante la modulación por conmutación de fase o por amplitud en cuadratura. Este tipo de señales permiten la regeneración de los datos y constan de una mayor tolerancia frente a ruidos e interferencias.

2.2.1 Elementos del radioenlace

Los elementos principales de un sistema de radioenlace punto a punto son las antenas, sobre todo las transmisoras y las receptoras; ya que, son las encargadas de emitir y captar, respectivamente, la señal a enviar. Pero en una comunicación en radiofrecuencia también pueden existir otros dispositivos de apoyo, cuales ayudarán en aquellos casos en los que la señal no cumple con las condiciones mínimas establecidas para una correcta recuperación de datos. Estos elementos, se definen como estaciones intermedias y pueden ser de dos tipos. Por un lado, se encuentran los repetidores, cuáles pueden ser activos o pasivos según las especificaciones de los mismos. Los activos, bajan la frecuencia de la portadora recibida a una frecuencia intermedia (FI) para poder amplificar la señal y volver a retransmitirlo. En caso de los pasivos, reflejan la señal obtenida, como si de unos espejos se tratasen. Por otro lado, se encuentran las estaciones nodales, que se tratan de una sección de conmutación, la entidad de control, protección y supervisión. En estas estaciones, se demodula la señal recibida y se baja a la frecuencia de banda base, ya que, desde este punto, permiten adjuntar o eliminar diferentes canales (*drop-in*).

En cuanto a la estructura del sistema de radiocomunicación, está definida mediante enlaces en serie, por lo que, en caso de fallo de algún elemento, esta comunicación se detiene, es decir, el enlace se corta. Es por ello, la necesidad de equipos de alta disponibilidad y confiabilidad con redundancias frente a las averías y desvanecimientos que puedan surgir. Para ello, y teniendo en cuenta que las estaciones funcionan de forma no atendida, también son necesarios los sistemas de supervisión y control automático que realicen dichas técnicas, cuales obtendrán información mediante las señales auxiliares de telemando y telesupervisión enviadas junto a la información útil de la señal. De esta manera, se pueden obtener los datos del estado del radio enlace en un momento determinado y así facilitar las operaciones de mantenimiento. En caso de avería, esta información deberá permitir localizar con exactitud el equipo dañado y poder comunicarse con él por telemando, enviando señales desde la central.

2.2.2 Propagación de la señal

El método de propagación de la señal, para una correcta transmisión de información, datos y/o voz, debe cumplir una de las condiciones más importantes en las comunicaciones inalámbricas, la línea de visión entre las antenas receptoras y transmisoras. Para ello, es necesaria la definición correcta del rango de frecuencias a utilizar en el radioenlace. Esto es

debido a que, las ondas emitidas pueden ser difractadas, refractadas, reflejadas o absorbidas por la atmosfera y los diferentes obstáculos que se encuentran en el recorrido que llevan los rayos desde el emisor hasta el receptor. Por lo tanto, ha de cumplir unas especificaciones mínimas establecidas para la propagación, cuales, en caso necesario, hagan posible la correcta recuperación de la señal.

Las ondas de radio no viajan en una línea recta entre un punto y el otro, sino en una espiral llamada Fresnel. Por este motivo, se crean dos grupos según las frecuencias de las ondas a emitir. Por un lado, se encuentran las VHF, *Very High Frequency* (30 MHz a 300 MHz) y UHF, *Ultra High Frequency* (3 MHz a 3 GHz), cuales presentan mayor tolerancia a los obstáculos y hacen posible los enlaces nLOS, *Near Line of Sight* (casi con línea de visión), lo cual define un trayecto parcialmente obstruido entre el emisor y el receptor de la señal.

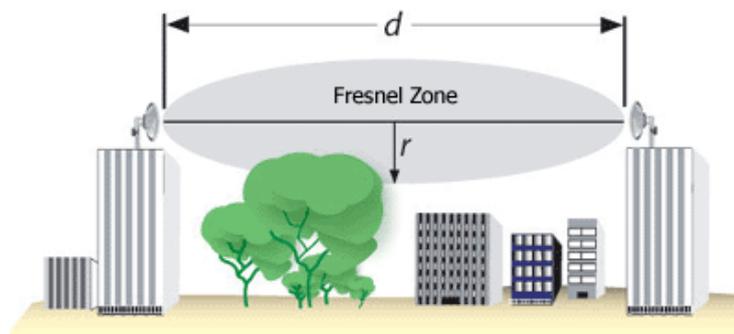


Figura 2 *Near Line of Sight, nLOS*
Consultado en: <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/>

En cambio, para los radioenlaces superiores a 900 MHz, es necesario realizar una propagación LOS, *Line of Sight* (en línea de visión o visión directa); es decir, sin obstáculos en la zona Fresnel³.

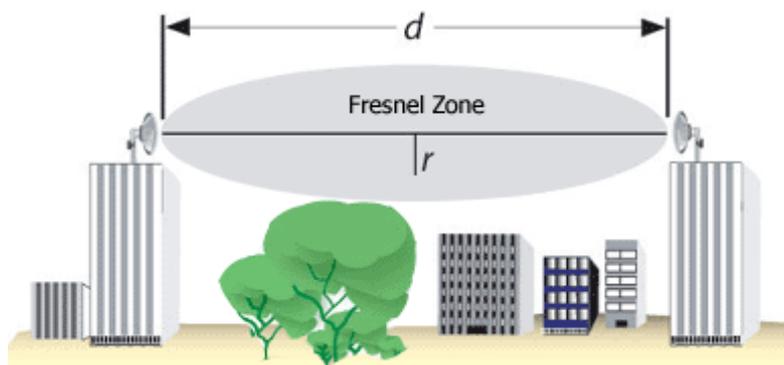


Figura 3 *Line of Sight, LOS*
Consultado en: <https://www.sincables.ec>

³ <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>

Por lo tanto, los pasos a seguir para definir un radioenlace de una manera satisfactoria son:

- Selección del lugar de instalación de los elementos. Se debe determinar, sobre todo, la ubicación de las antenas de transmisión y de recepción. Así como en caso necesario, las estaciones intermediarias.
- Verificación del perfil del terreno en el que se va a configurar el sistema de comunicación. Es decir, se debe tener en cuenta el territorio donde se quiere realizar el radioenlace, ya que debe cumplir la línea de visión entre las dos antenas, así como la distancia de separación entre ambas.
- Cálculos de la colocación del mástil de la antena, así como de la altura a la que instalar el elemento, con el fin de una correcta visualización.
- Cálculos completos del radioenlace, teniendo en cuenta la trayectoria que van a llevar las ondas y los efectos a los que se exponen las mismas, ya sean consecuencias naturales o producidos por el ser humano (atenuación, interferencias...)
- Pruebas posteriores a la instalación del sistema radioenlace, cuales verificarán la correcta implantación del sistema y puesta en marcha del mismo.

2.3 Sistema de comunicación actual entre plantas

Actualmente, la empresa cuenta con un único sistema de comunicación tanto para las transferencias o *backup* realizadas internamente (entre sus plantas situadas en la misma provincia de Bizkaia), así como para aquellas conexiones realizadas externamente (Internet, clientes, proveedores, plantas de otros países...). Para ello, se utiliza una conexión MPLS, *Multiprotocol Label Switching* (conmutación de etiquetas multiprotocolo) ofrecido por la compañía alemana T-SYSTEMS.

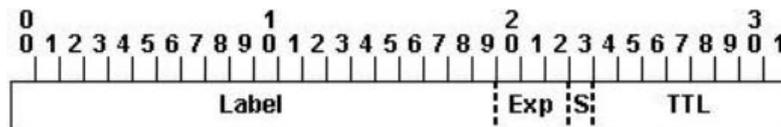
2.3.1 Definición de MPLS

El MPLS es un estándar de transporte de datos de IETF4, *Internet Engineering Task Force* (grupo de trabajo de ingeniería de Internet) que fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes. Esta tecnología, realiza el reenvío de los paquetes (donde se transporta diferente tipo de

⁴ <https://www.ietf.org/standards/process/>

información, incluyendo los datos a una alta velocidad, tráfico de voz digital en una sola conexión, así como paquetes IP) haciendo uso de las escrituras de las etiquetas.

Estas escrituras de etiquetas son un cortocircuito (con cuatro bytes) que sirve para identificar un *Forwarding Equivalence Class*, FEC, grupo de paquetes IP cuales se envían de la misma manera sobre la misma trayectoria y tratamiento de expedición. Además, estas etiquetas, se sitúan entre la capa de link de datos (entre el encabezado de la capa 2 y el encabezado de la capa 3).



- **Escritura de la etiqueta** - Valor de etiqueta (no estructurado), 20 bits
- **Exp** - Uso experimental, 3 bits; utilizado actualmente como campo del Clase de Servicio (CoS)
- **S** - Parte inferior del stack, 1 bit
- **TTL** - Time to Live, 8 bits

Figura 4 Escritura de la etiqueta
Consultado en: <https://www.cisco.com>

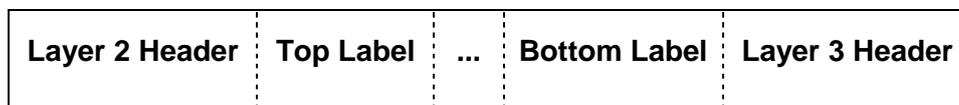


Figura 5 Colocación de escritura de etiqueta

Entre las características básicas y el funcionamiento del MPLS se encuentran los siguientes puntos:

- Introduce la estructura orientada a conexión, en aquellas redes que en sus orígenes no estaban orientadas a conexión.
- Combina las funciones de control de enrutamiento, entre los niveles de enlace de datos y red, con efectividad a través de la conmutación por etiqueta. Estas etiquetas transportadas en la cabecera del paquete son definidas por los nodos, solo con significado local, donde resumen diferente información (dirección de destino, parámetros de tipo de servicio, etc.)
- Reduce la complejidad de los algoritmos, optimizando el enrutamiento.
- Permite el uso del QoS, *Quality of Service* (calidad de servicio) en las redes IP.
- Optimiza las conexiones VPN, *Virtual Private Network*, y también las crea basadas en IP.

La velocidad contratada a T-Systems para las diferentes transferencias de datos es de 34 Mbps, con el cual se consiguen unos valores máximos de 19 Mbps tanto en emisión como recepción, según los datos obtenidos desde la plataforma de la empresa de telecomunicaciones. La información que proporciona la línea principal indica las velocidades obtenidas tanto en subida desde Zamudio (señal azul) como en bajada (señal verde) de cada día.

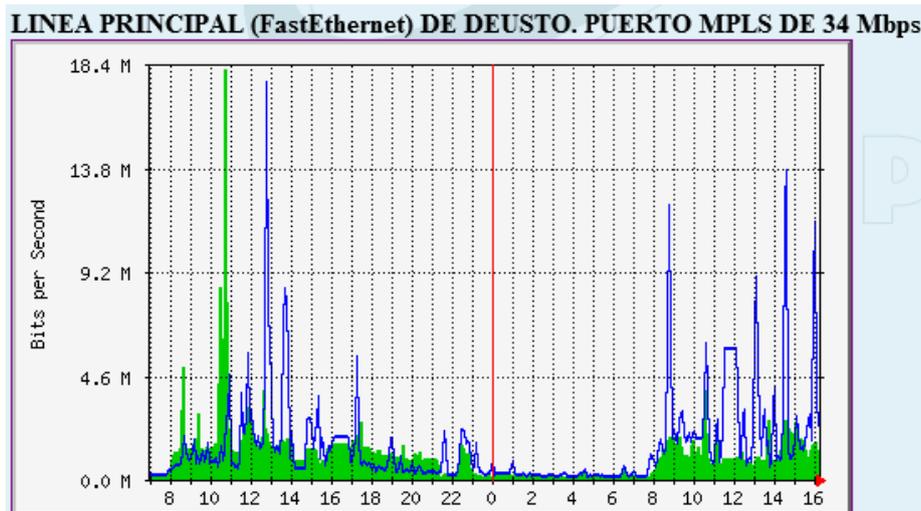


Figura 6 Línea MPLS Zamudio-Derio

2.4 Radioenlace entre plantas

El sistema de comunicación definida actualmente tiene un coste muy elevado para la empresa, puesto que supone una cuota mensual a pagar a la compañía contratada, tanto por el soporte del servicio, así como por el alquiler de las líneas de comunicaciones. Es por ello, que se realiza el planteamiento de una inversión de un sistema de radioenlace entre las dos plantas más cercanas de la empresa realizado mediante un canal dúplex.

Una comunicación mediante las frecuencias de microondas supone una instalación rápida, sencilla y de bajo coste, además de que, en caso de fallo de comunicación, resulta sencillo detectar y localizarlo, ya que este proyecto únicamente cuenta con un transmisor y un receptor. Asimismo, debido a las principales características de este tipo de sistema, como la flexibilidad y la escalabilidad, resulta una comunicación adecuada para poder superar las irregularidades creadas por el terreno donde se va a implantar.

Por otro lado, el uso de las antenas en transmisión y recepción, permiten la variación del ancho de banda de la comunicación, consiguiendo mayores velocidades, mediante antenas relativamente pequeñas (debido al uso de frecuencias muy altas). Es por ello, que supondrá un ahorro importante en un futuro no muy lejano, además de conseguir una mayor velocidad de transferencia de datos entre ambas plantas.

En la siguiente gráfica, se puede observar la comunicación de MPLS calculada por el sistema actual, el día 10 de mayo de 2018. Aun teniendo contratado una velocidad de aproximadamente 34 Mbps del sistema, debido a causas de las pérdidas e interferencias, no se supera la media real de 1'04 Mbps en la conexión realizada desde Derio a Zamudio, y una conexión ascendente de aproximadamente 1'5 Mbps.

Es por ello, que el aumento de velocidad que se pretende conseguir mediante la nueva comunicación vía microondas, permitirá una mayor agilidad de las transmisiones de información. Puesto que dicha velocidad teórica alcanza los 153'6 Mbps mediante la instalación del radioenlace.

The statistics were last updated **Thursday, 10 May 2018 at 16:23**,
at which time 'es-gtp-zamudi-ce-01' had been up for **32 days, 22:06:43**.

'Daily' Graph (5 Minute Average)

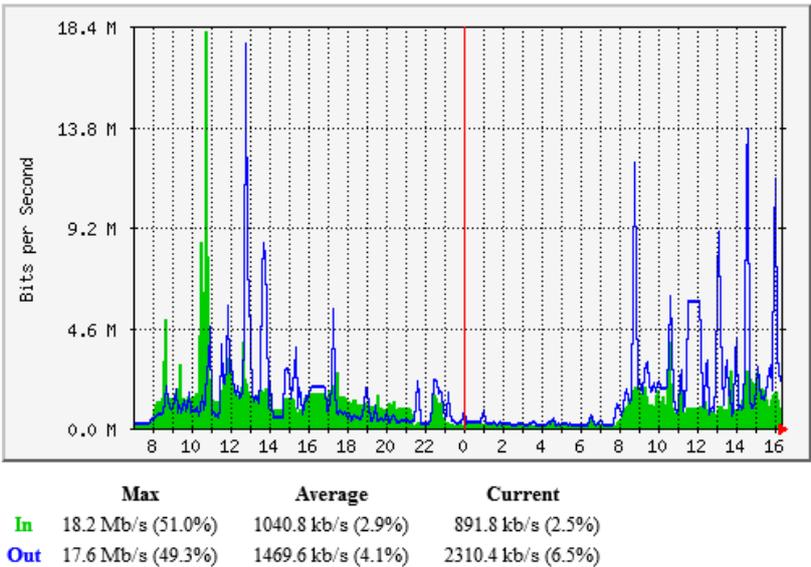


Figura 7 Media de MPLS Zamudio-Derio

Este nuevo sistema se realiza mediante únicamente dos antenas para una conexión punto a punto, ya que la cercanía entre ambos pabellones (aproximadamente 3 Km) y la correcta visualización entre ellas, no necesita de ninguna otra estación intermedia. Esto es debido a que el pabellón situado en Derio, se encuentra en una colina, lo cual permite la visión directa de las dos antenas instalándolas en los tejados. Desde estos elementos situados en los mástiles correspondientes, no hay ningún problema para la conexión a los *switch* que se sitúan en los CPD (Centro de Procesamiento de Datos) de cada delegación.

Por lo tanto, se quiere prescindir de las líneas de MPLS y sustituirlas por comunicaciones de radiofrecuencia, por el ahorro económico y el ancho de banda superior de los últimos. De esta manera, se derivarán por el nuevo sistema los *backup* realizados, así como el tráfico entre sedes navegación de Internet y seguridad.

3. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 Análisis

La importancia de una correcta recepción de la señal, hace necesaria realizar un análisis del sistema de radiocomunicación a implantar. Para ello, en este apartado se plantean los diferentes elementos importantes que componen el radioenlace, y se explican el uso y las especificaciones a tener en cuenta de cada uno de ellos. Por otro lado, se realizan los cálculos básicos que definen dichas características para poder escoger las más adecuadas y así conseguir la finalidad del proyecto, un enlace por microondas entre las dos plantas situadas en pueblos continuos.

3.1.1 Análisis del radioenlace

En un sistema de comunicación inalámbrica, los dispositivos más importantes son la antena emisora y receptora; pero se debe considerar cada una de las partes que hacen posible la trayectoria de la señal desde el *switch*, de donde se va a acceder a la información, hasta el mismo elemento reflector. Ya que, todos ellos afectan activa o pasivamente en el alcance de la transmisión.

Por lo tanto, a continuación, se describen los diferentes componentes que forman el sistema, así como los puntos a tener en cuenta para una correcta radiocomunicación (como pueden ser las diferentes atenuaciones o las leyes a cumplir).

3.1.1.1 Antenas

La función básica de este elemento radiante que se sitúa al final de la línea de transmisión, es la emisión o recepción de la señal. Para ello, una antena transmisora transforma la energía eléctrica que le llega a la entrada en ondas electromagnéticas, que son propagadas por el espacio libre. La importancia de definir las condiciones adecuadas para la estructura a realizar, influye en la zona de cobertura, de tal manera que puede tener o no el alcance suficiente para realizar una correcta comunicación. Por lo tanto, se describen los puntos significativos para poder escoger la antena para el radioenlace:

- Directividad: se trata de la relación entre la densidad de potencia radiada hacia una dirección (a una distancia) y la densidad que radiaría una antena isotrópica en las mismas condiciones.

$$D = \frac{4\pi}{\iint \frac{P(\theta, \Phi)}{P_{max}} \sin(\theta) d\theta d\Phi} = \frac{4\pi}{\Omega_e} \quad (1)$$

Siendo Ω_e el ángulo sólido equivalente. Esta característica, también se puede obtener mediante el diagrama de radiación, el cual permite saber el tipo de directividad que tiene la antena:

- Direccional: son antenas capaces de concentrar la mayor parte de la energía radiada en una dirección, de manera que se aumenta la potencia emitida hacia el objetivo y se evita las interferencias producidas por la fuente. Aunque su haz de emisión es estrecho, su alcance es considerablemente grande. Este tipo de antenas son las más óptimas para un radioenlace Punto a Punto.
- Omnidireccional: son aquellas capaces de emitir la misma energía en todas las direcciones, es decir, están configuradas para emitir la señal a 360°, por lo que no requieren ser orientadas. Otra de las especificaciones es el menor alcance que tienen frente a las direccionales. Aunque la única que consigue exactamente esta condición es la antena isotrópica, una construcción teórica utilizada como referencia para los cálculos de ganancia o de potencia efectiva. Este tipo de elemento sería el más apropiado para un enlace Punto a Multipunto.
- Bidireccional: son las antenas que emiten radiación hacia dos direcciones.
- Ganancia: es la potencia de amplificación de la señal en la dirección máxima de radiación. Se trata de la relación entre la potencia a la salida y la potencia a la entrada en dB. Pero también se puede definir como la relación entre su máxima intensidad de radiación y la de una antena isotrópica con la misma distancia y potencia de entrada. En este caso, la ecuación será:

$$G = E_{ff} \cdot D \quad (2)$$

- **Diagrama de radiación:** este dibujo representa la radiación de la antena en función del azimut y elevación definidas. Con el diagrama se puede obtener la información de otras características como la directividad (indicado con el lóbulo principal) o el ancho de haz, entre otros. Para ello, se debe fijarse en la dirección del apuntamiento, lo cual indica la máxima radiación (directividad y ganancia).

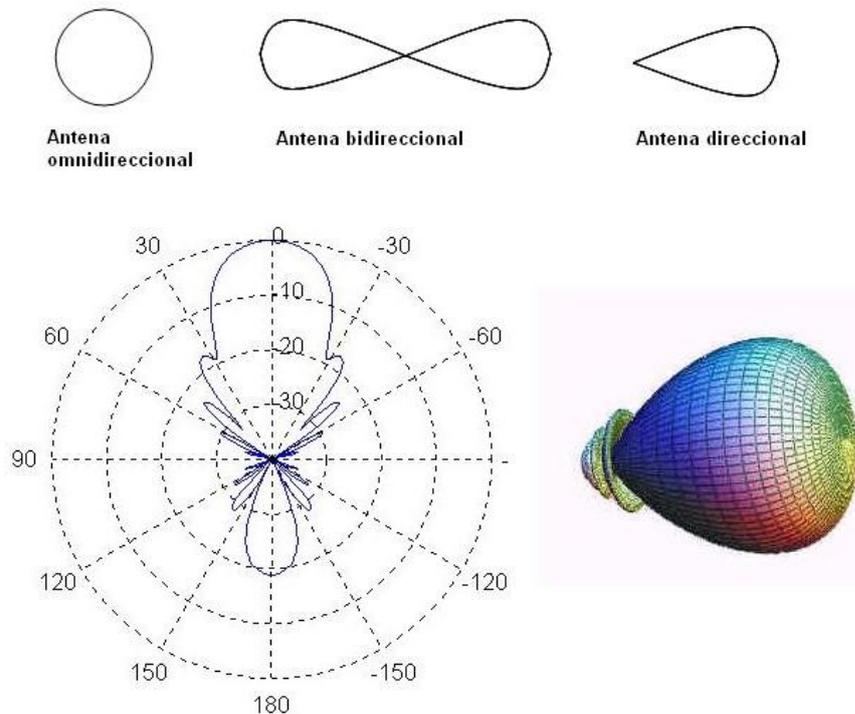


Figura 8 Diagrama de radiación

Consultado en: <http://antenas13.blogspot.com/p/parametros-generales-de-una-antena.html>

- **Relación del lóbulo principal al lóbulo secundario:** se trata de la relación entre la ganancia directiva y el valor obtenido para cualquiera de los lóbulos secundarios en dB.
- **Factor radiación trasera:** es la relación entre la ganancia directiva y el valor conseguido en la dirección opuesta en dB.
- **Ancho de haz:** es el margen angular de dirección donde la potencia radiada se reduce a la mitad (3 dB) de la potencia máxima (en la dirección principal de radiación). Esta especificación está directamente relacionada con la ganancia, donde a mayor ganancia de la antena, más estrecho es el ancho de haz.

- Ancho de banda: se trata del rango de frecuencias en la que la antena funciona de una manera óptima, respecto a unas características estándares especificados. Estos límites lo definen ambos lados de la frecuencia central. Esta información es muy importante para poder diseñar un sistema de banda ancha, puesto que la velocidad que se quiera adquirir, en parte dependerá del ancho de banda.
- Frecuencia de trabajo: es la frecuencia de funcionamiento de la antena, para ello, anteriormente los fabricantes han configurado cada una de las antenas con la frecuencia por la que radiarán.
- Sensibilidad: se trata del parámetro de la antena receptora con gran importancia, ya que indica el alcance que puede tener el sistema, definiendo el umbral de calidad. Este valor indica el nivel mínimo de señal que debe llegar al equipo final para un correcto funcionamiento. Para poder definir este parámetro, el fabricante ha tenido en cuenta tanto el ruido de la entrada del demodulador, el ruido térmico generado por el equipo, e incluso, el ruido externo captado por la antena.
- Polarización: se trata de la figura geométrica creada en una determinada dirección por el extremo del vector del campo eléctrico, a una distancia de la antena y en función del tiempo. Los tipos que existen son la lineal (pueden ser horizontal, vertical, de -45° o $+45^\circ$), circular y la elíptica. La polaridad vertical es aquel cuyo campo eléctrico es perpendicular a la tierra, en cambio el horizontal, es el que tiene el campo paralelo a la tierra. Por otro lado, la circular y la elíptica pueden ser hacia derechas o izquierdas según el giro del campo. Para una correcta comunicación entre las antenas, todas deberían de tener la misma polarización.

Según las características definidas, el tipo de antena puede variar. Por lo cual, se procede a una breve explicación de los modelos más habituales que existen en el mercado, para después poder seleccionar el más apropiado para la particularidad del sistema que se quiere crear. Los grupos principales que abarcan estos elementos reflectores son, las antenas de hilo, de apertura y las planas, aunque también puede crearse agrupaciones con estas antenas.

- Antenas de hilo: son aquellos cuyos elementos radiantes son los conductores de hilo, despreciables respecto a la longitud de onda de trabajo. Consisten en dos cables situados a una distancia corta en el mismo eje, por donde es alimentado únicamente

uno de los extremos (quedando el otro libre). Este tipo de antenas son omnidireccionales, donde definen un diagrama de radiación en forma de dona, zona hueca en el medio (es el punto del eje donde se encuentran los cables y no se genera radiación). Es por ello que son las utilizadas en aquellos sistemas donde no se necesite mucha ganancia.

Por otro lado, la ventaja principal es el bajo coste de este tipo de antenas, cuales engloban las antenas monopolo, dipolo de media longitud de onda o dipolo doblado.

Otro sistema radiante basada en las de hilo son las Yagi-Uda, cuales tienen varios dipolos de la misma largura (menos una de ellas que es ligeramente más larga) situados horizontalmente en paralelo y en un mismo plano. El dipolo más largo, llamado reflector, produce un retraso sobre la señal de los otros, por lo que se consigue que la señal direccionada hacia él se cancele. En cambio, los demás (directores) sirven para amplificar y direccionar la radiación, con lo que se consigue una mayor directividad. Este tipo de antena es alimentada en el hilo más cercano al reflector.



Figura 9 Antena Yagi
Consultado en: <http://www.radioenlaces.es>

- Antenas de apertura: se trata de las antenas que utilizan superficies o aperturas para direccionar el haz de la señal, de tal modo que concentran la emisión y recepción del sistema en una dirección. Entre ellas se encuentran las parabólicas y la bocina. Las primeras con forma de parábola, constan de una guía de onda colocada en el foco de la antena, cual es el principal elemento que actúa a la hora de enviar y recibir la señal mediante el rebote generado en el plato. Este tipo de antenas son muy directivas y son las que mayor ganancia tienen de todas, debido a las propiedades matemáticas de la parábola. Por lo que normalmente, se utilizan para frecuencias muy altas.

Por otro lado, se encuentra la bocina, cual se encuentra unido a una antena dipolo o monopolo y funciona como un megáfono para sonido. Es decir, el dipolo es el encargado de transmitir la señal y la bocina el que proporciona la directividad (dando gran ganancia).



Figura 10 Antena bocina
Consultado en: <http://www.directindustry.es>

- Antenas planas: estas antenas tienen unas características muy similares a las parabólicas, con la diferencia de su aspecto (en este caso son planas) y la falta de necesidad de un LNB, *Low Noise Block*. En este tipo de radiantes, la misma superficie es la que realiza la captación y la emisión de la señal, debido a que su configuración se basa en los parches internos que disipan la potencia como radiación. De esta manera, su orientación directa a su destino (ya sea a otra antena o satélite) hace que sean muy directivas, aunque su alcance no es tan significativo como las parabólicas.

Dentro de las variedades, existen diferentes formas de superficie, donde se encuentran las cuadradas, rectangulares, circulares o elípticas.



Figura 11 Antena plana
Consultado en: <http://www.radioenlaces.es>

Por último, se procede a dar una breve explicación de las antenas MIMO, *Multiple Input Multiple Output*. Este tipo de antenas utilizan una tecnología que permite la transmisión de múltiples señales con misma frecuencia, aprovechándose de la propagación multicamino. De esta manera, se incrementa la eficiencia y la capacidad del sistema de comunicaciones a utilizar.

3.1.1.2 Cables

Los tipos de cables que se utilizan en el área de las telecomunicaciones son múltiples, aunque la función de todos ellos siempre es la de transportar información. En el caso de un radioenlace, donde el cable es utilizado para trasladar los datos desde el *switch* situado en el CPD (Centro de Procesamiento de Datos) a la antena, los modelos más utilizados teniendo en cuenta las características que proporciona frente a los demás, son los coaxiales.

Este cable está compuesto por dos conductores aislados mediante un dieléctrico. Por una parte, se encuentra el núcleo, el conductor de alambre (de cobre o aluminio) por donde se transmite la señal eléctrica deseada. Después se sitúa el dieléctrico, cual aísla los dos conductores con el fin de que no se produzca un cortocircuito. A la vez, esta capa es envuelta por una malla metálica trenzado o laminado, cual protege la señal del ruido eléctrico y de distorsiones de hilos adyacentes. Por último, se encuentra la cubierta exterior fabricado con plástico, teflón o goma, lo cual resguarda de la humedad e interferencias electromagnéticas de fuentes externas, debido a que estos materiales no son conductoras.

Este tipo de cableado está diseñado para poder transportar señales de alta frecuencia (ya que limitan las pérdidas por radiación de las frecuencias mayores de 100 kHz) y a alta velocidad en largas distancias, sin que le afecte las interferencias de otras señales.



Ilustración 1 Cable coaxial
Consultado en: <https://www.ondamania.com>

A la hora de escoger un cable coaxial, se debe tener en cuenta los parámetros más importantes que lo definen, puesto que pueden variar según la finalidad para los que están pensados:

- Impedancia característica: es la relación entre la tensión aplicada y la corriente absorbida por un cable coaxial de longitud infinita. Por lo tanto, será necesario tener presente este valor, ya que es el que indica el valor de la resistencia con la que se debe terminar el cable. De esta manera, si no es adaptada correctamente, la señal

es rebotada al final de la línea. El valor de los cables coaxiales más utilizados suelen ser de 50 o 75 Ω .

$$Z_0 = \frac{60}{\varepsilon} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \quad (3)$$

Donde,

- ε : constante dieléctrica del material
- D: diámetro del conductor exterior (mm)
- d: diámetro del conductor interno (mm)

- Capacidad: es la cantidad de información que puede ser transmitida. Y se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{24'16\varepsilon}{\log\left(\frac{D}{d}\right)} \quad (4)$$

Donde,

- ε : constante dieléctrica del material
- D: diámetro del conductor (mm)
- d: diámetro del conductor interno (mm)

- Frecuencia de trabajo: es la frecuencia a la que está diseñada el cable para poder trabajar en condiciones adecuadas.
- Atenuación: se trata de las pérdidas de potencia generadas a la frecuencia de trabajo. Se miden en dB/m, aumentándose la atenuación a mayor distancia y frecuencia. Por lo tanto, característica importante a tener en cuenta para las pérdidas que se generarán en el sistema de radiocomunicación.

3.1.1.3 Conectores

Los conectores utilizados en los extremos del cableado, aportan una pérdida pequeña pero que se debe tener presente para que los cálculos de la señal sean reales desde el principio.

Los conectores en los que se centra este punto, son únicamente aquellos compatibles con los cables coaxiales, ya que son las utilizadas para el radioenlace.

Aun teniendo esta especificación, existen varios modelos que se podrían utilizar. Por un lado, se encuentran los conectores para banda ancha IEC 169-2, cuales abarcan los conectores tradicionales de RF, F (conector coaxial de radiofrecuencia) y los BNC, Bayonet Neill-Concelman (utilizado principalmente en conexiones de video y redes Ethernet). Por otro lado, se sitúan las especializadas para audiovisuales como son el conector XLR-3, *Xternal Live Return* o Retorno Externo Activo de 3 pines (para audio profesional y equipos de iluminación), RCA (*Radio Corporation of America*) y Jack (conector de audio). Y, por último, se encuentran las de usos especiales como UHF (para frecuencias VHF y HF) o SMA, *SubMiniature version A* (utilizado en microondas con soporte hasta 33 GHz).



Ilustración 2 Conector SMA
Consultado en: <https://es.rs-online.com>

3.1.1.4 Mástil

El mástil es un soporte robusto que permite sujetar la antena en la intemperie, de manera que esta permanezca siempre con la orientación definida. Aunque este componente del sistema no actúa directamente en la comunicación, es una parte pasiva que ayuda a mejorar el alcance; ya que, permite regular la altura a la que se instala la antena, pudiendo evitar algunos obstáculos.



Ilustración 3 Mástil para antena
Consultado en: <https://www.diesl.es>

Con el fin de escoger el más adecuado para el proyecto se realizan los cálculos básicos teniendo en cuenta que no sobre altura por encima del reflector, ni se quede escasa. Mediante este resultado, se ha de analizar el mercado, puesto que se ofrecen mástiles de diferentes alturas y grosores para hacer frente a las necesidades de elevación de la antena, así como para ser la base necesaria según el peso de la misma.

3.1.2 Atenuaciones y reflexiones

Una antena receptora puede alcanzar la misma señal varias veces y de diferentes maneras. Este fenómeno llamado multitrayecto, puede ser causado por los retrasos, interferencias y modificaciones que puede tener la onda en la trayectoria realizada desde la antena transmisora hasta la receptora. Existen dos tipos de efecto. Una es el desvanecimiento, cual ocurre cuando la onda directa y la reflejada se encuentran en un desfase de 180°, y parte de la señal se cancela. Por otro lado, se encuentra la distorsión, donde la señal directa y la reflejada llegan con una diferencia de tiempo entre ellas (suele ocurrir por reflexiones en los montes o edificios).

En cuanto a los tipos de pérdidas de un sistema de radioenlace, se pueden encontrar varios a tener en cuenta. Algunas son aquellas añadidas por los elementos utilizados para realizar la comunicación (explicadas en puntos anteriores) que dan la posibilidad de ajustar a las necesidades buscadas. Por otro lado, se encuentran aquellas que obstaculizan el paso de la señal debido al entorno donde se vayan a instalar las antenas. Para ello, es necesario tener presente la zona de Fresnel, donde se especifica que el 60% de la primera zona de Fresnel debe estar libre para poder tener una correcta conexión. Por último, se encuentran las interferencias, cuáles pueden ser producidos por sistemas que están instalados anteriormente o las pérdidas por causas naturales.

En este último caso, se encuentra la atenuación producida por lluvia, nieve, granizo o niebla. Aunque las pérdidas por lluvia pueden ser despreciables para frecuencias inferiores a 5 GHz, se debe incluir para los diseños realizados a mayor frecuencia. Según las recomendaciones de la UIT-R 838 "es necesario calcular la atenuación producida por la lluvia a partir de valores de intensidad de lluvia conocidos" mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (5)$$

Donde,

R : es la intensidad de la lluvia (mm/h)

k y α : son constantes que dependen de la frecuencia y polarización de la señal electromagnética

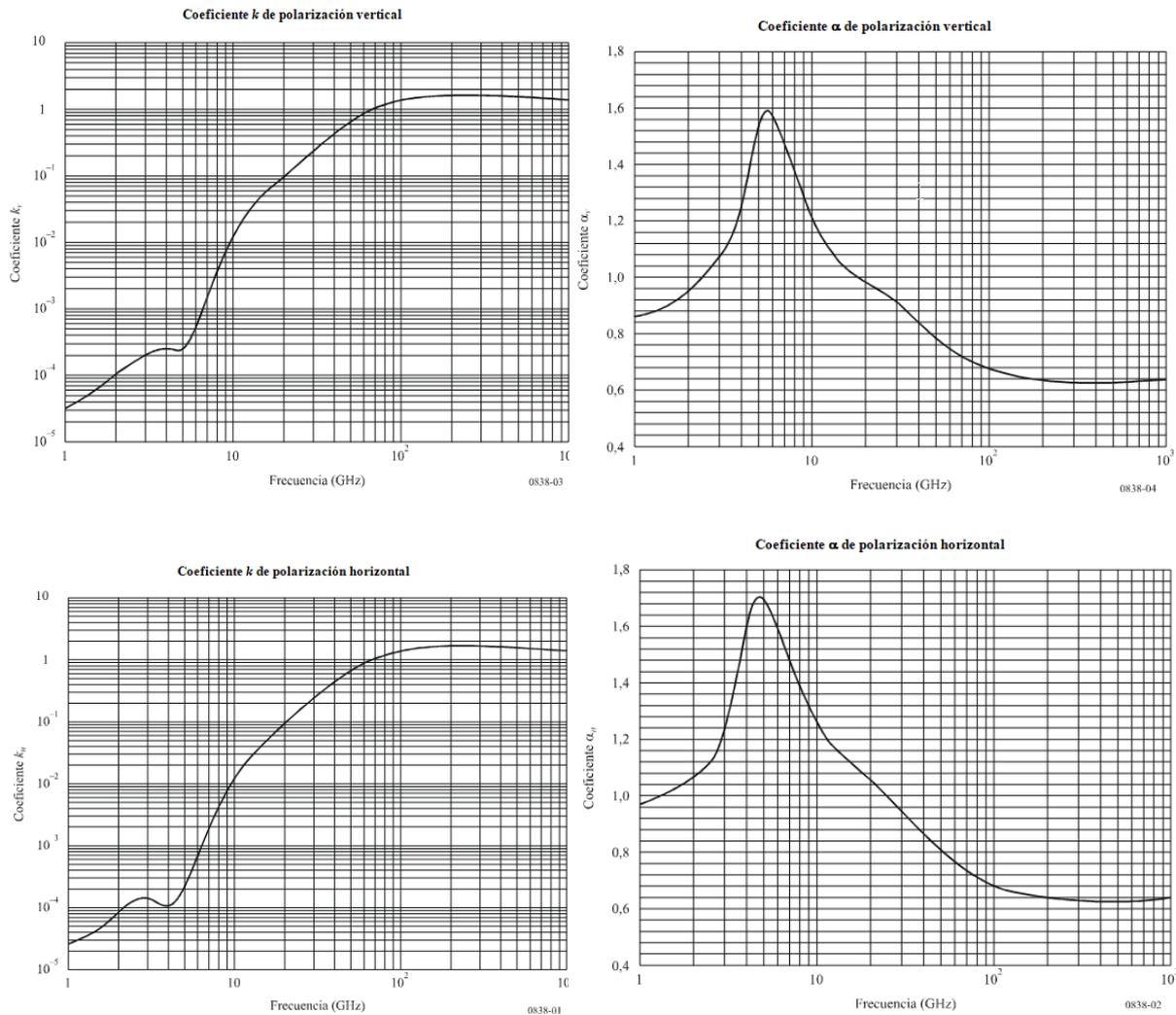


Figura 12 Coeficientes de polarización horizontal y vertical
Consultado en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf

3.1.3 Cumplimiento de la ley

Las frecuencias utilizadas para radioenlace se sitúan principalmente en el rango de altas frecuencias, cuales se comprenden entre 300 MHz y 300 GHz. Pero lo más común es el uso de las frecuencias que son súper elevadas (mayor que 3 GHz), por lo tanto, se analizan la variedad que se sitúa dentro de este rango. Para ello, es importante recordar la principal característica de las frecuencias, puesto que la decisión de elegir una frecuencia de

funcionamiento u otra, variará el alcance, así como la calidad de la señal recibida. Teniendo esto como referencia, y sabiendo que el proyecto se va a efectuar en España, se debe consultar la ley que rige las frecuencias en este país.

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) es el encargado de la distribución del espectro en España, definiendo la reserva del uso de diferentes bandas para radiocomunicaciones entre 8 kHz y 300 GHz (para este proyecto únicamente se centra la atención en aquellas mayores de 3 GHz). Entre los rangos definidos para distintas finalidades, existen algunas con necesidad de licenciamiento y otras que son libres. Debido a que la finalidad de este proyecto es un radioenlace de dos plantas de la misma empresa, se intenta evitar tener que utilizar la banda de frecuencias que necesiten licencias, y así, se pretende impedir el pago extra de la configuración del sistema de radioenlace. Esto es debido a que las bandas con licencia son de elevado coste y generan tramites de larga duración. Por lo tanto, se escoge el área de los 5 a 5'8 GHz, banda de libre uso en el estado español y descrita mediante UN-128 y UN-143 (desde el 2010).

Esta frecuencia se divide en tres bandas de uso común 5150-5350 MHz, 5470-5725 MHz y 5725-5875 MHz. La primera banda está definida como uso únicamente para el interior de recintos, en cambio la segunda permite conexiones internas como externas. La frecuencia de 5'8 GHz también subdividida en dos bandas, está orientado al uso de las tecnologías de banda ancha.

Una de las desventajas de trabajar en frecuencias libres, es la delimitación por parte del gobierno sobre la potencia de transmisión, cual es regulada mediante el valor del PIRE (potencia isotrópica radiada equivalente). Los valores del PIRE varían según la frecuencia utilizada para una conexión punto a punto, regulado por la Recomendación UIT-R M.1450-1, siendo de 20 dBm para las frecuencias de 5 GHz y de 36 dBm para los de 5'8 GHz. Esta diferencia de potencia de transmisión, puede ser importante a la hora de analizar el alcance del sistema. Otra de los inconvenientes frente a las de pago, son las interferencias, ya que, al ser una banda libre de uso, no hay una regulación del número de redes que trabajan en esa frecuencia y la calidad será peor que en las bandas de licencia.

Parámetro	Configuración P-MP	Configuración P-P	Configuración Malla	Desde y hacia cualquier punto
Máx. potencia media p.i.r.e. (1)	36 dBm	36 dBm	33 dBm	33 dBm
Máx. densidad media de potencia p.i.r.e.	23 dBm/MHz	23 dBm/MHz	20 dBm/MHz	20 dBm/MHz
Rango TPC	12 dB	12 dB	12 dB	12 dB

Tabla 4 PIRE máximo para 5.8 GHz
Consultado en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-12318>

3.1.4 Análisis matemático

Una vez analizados los elementos componentes del sistema del radioenlace, se procede a los cálculos matemáticos que terminarán de definir las características que debe tener cada uno de ellos, con el fin de que se consiga una conexión adecuada. Para poder dar por válido, debe cumplir varias especificaciones y se deben tener presentes las diferentes atenuaciones que afectan en este tipo de sistemas.

Alcance de la señal

Para empezar, se realiza el cálculo de la distancia máxima que puede alcanzar la señal emitida, mediante una antena en condiciones ideales. Así pues, se tiene en cuenta la altura de cada uno de los edificios, así como el mástil utilizado para sujetar la antena.

$$r = \sqrt{17h_1} + \sqrt{17h_2} \quad (6)$$

Donde r es la distancia (km) y h_1 y h_2 son la altura (m) en las que se encuentran cada una de las antenas respecto al suelo.

Si en la ecuación se sustituyen los datos aproximados de la altura de la planta de Zamudio (8'5 m) y de Derio (7'5 m) y se define la altura en la que se coloca la antena, aproximadamente unos 2 m sobre el tejado de cada una de las fábricas:

$$r = \sqrt{17 \cdot 10'5} + \sqrt{17 \cdot 9'5} = 26 \text{ km} \quad (7)$$

Se puede observar que en principio se puede realizar la comunicación sin problema, puesto que entre ambas plantas existe una distancia de casi 3 km. Lo cual es bastante menor que la distancia máxima que puede alcanzar la señal transmitida.

Zona Fresnel

El análisis de la influencia de los obstáculos situados entre las dos antenas, se realiza mediante elipsoides de Fresnel, donde es necesario tener mínimo el 60% de la primera zona libre de obstáculos. Este parámetro se ve afectado por la longitud del radioenlace y la

frecuencia utilizada, ya que a mayor frecuencia las zonas de Fresnel se estrechan. Para realizar el cálculo de la anchura, se utiliza la siguiente fórmula del radio de la primera zona de Fresnel:

$$R_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (8)$$

Donde,

λ : es la longitud de onda (m). Siendo $\lambda = c/f$ { $c =$ velocidad de la onda; $f =$ frecuencia}

d_1 y d_2 : son las distancias de la antena transmisora y receptora.

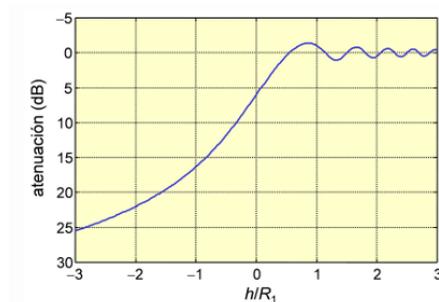


Figura 13 Relación de atenuación en la zona Fresnel
Consultado en: <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>

En caso de que no exista ningún obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel, se considera una propagación de visibilidad directa.

Señal a ruido

Señal a ruido es una relación que permite saber la diferencia mínima que se debe alcanzar entre la señal recibida y el ruido, de manera que define la calidad de la señal recibida. Para ello, se tienen en cuenta el ruido térmico, industrial y otras interferencias creadas por redes de la misma banda de frecuencia.

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Potencia Señal (W)}}{\text{Potencia Ruido (W)}} \right) \quad (9)$$

Cuanto mayor sea este valor, la señal recibida será más limpia y la calidad mejor.

Pérdidas de espacio

Por otro lado, es preferible realizar el cálculo de las pérdidas de espacio libre entre antenas isotrópicas, debido a que se trata de un enlace punto a punto. Con el fin de evaluar esta atenuación, es necesario tener en cuenta lo establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT (UIT-R P.525-2). Esta atenuación se crea en la trayectoria del espacio libre que atraviesa la señal desde la antena emisora hasta la receptora en un espacio libre de obstáculos.

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (10)$$

Donde,

L_{bf} : pérdida básica de transmisión espacio libre (dB)

λ : longitud de onda

d : distancia entre antenas

Las unidades utilizadas para la longitud de onda y la distancia deben de ser las mismas.

Igualmente, esta ecuación también se puede escribir en función de la frecuencia utilizada:

$$L_{bf} = 32'4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (11)$$

Donde,

f : frecuencia (MHz)

d : distancia entre antenas (km)

Teniendo en cuenta el análisis realizado sobre las frecuencias de trabajo para la conexión por radio, se ve oportuno el uso de la frecuencia de 5 GHz en las bandas 5725-5875 MHz. Por otro lado, siendo la distancia exacta entre ambas antenas de 2'95 km, se puede realizar el cálculo de las pérdidas de espacio libre para este proyecto:

$$L_{bf} = 32'4 + 20 \log 5 \cdot 10^3 + 20 \log 2'95 = 115'77dB \quad (12)$$

Finalmente, este dato es necesario para poder calcular la potencia total capturada por la antena receptora.

Potencia recibida

Otro de los cálculos a realizar es la potencia a recibir de la antena receptora, cual se puede calcular mediante la siguiente ecuación, donde se tienen en cuenta las ganancias, potencias y principales focos de pérdidas del sistema de radioenlace:

$$P_{RX}(dBm) = P_{TX}(dBm) - A_{Cable\ TX}(dB) + G_{Antena\ TX} - L_{bf}(dB) + G_{Antena\ RX} - A_{Cable\ RX}(dB) \quad (13)$$

Donde,

$P_{RX}(dBm)$: Potencia recibida

$P_{TX}(dBm)$: Potencia del transmisor

$A_{Cable\ TX}(dB)$: Pérdida de cable en TX

$G_{Antena\ TX}(dBi)$: Ganancia antena TX

$L_{bf}(dB)$: Pérdida espacio libre

$G_{Antena\ RX}(dB)$: Ganancia de antena RX

$A_{Cable\ RX}(dB)$: Pérdida de cable en RX

Para poder entender el resultado obtenido, se debe tener en cuenta la sensibilidad de las antenas receptoras, puesto que serán los que indican si la potencia calculada es suficiente para poder ser captada por ellas o no. En caso de que sea insuficiente, será necesario cambiar las diferentes configuraciones que tiene la antena. Por el contrario, si la potencia entra dentro del rango establecido por la sensibilidad de la antena, la señal podrá ser recibida.

PIRE, Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

El PIRE o EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) es la potencia transmitida que radiaría una antena isotrópica. El valor máximo que puede alcanzar esta potencia lo define cada gobierno, por lo que es necesario cumplir las leyes del país donde se va a implantar el proyecto.

Para poder saber si se sobre pasa el límite establecido, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$PIRE = P_T - A_{cable} + G_A \quad (14)$$

Donde,

P_T (dBm): Potencia transmitida

A_{cable} (dB): Pérdida de cable

G_{Antena} (dBi): Ganancia de antena

De manera que el cálculo total, no debe exceder del límite establecido. Para realizar el cambio de W a dBm se tendrá en cuenta la relación de los mismos: $P_{(dBm)} = 10 \log_{10}(1000 \cdot W)$

Discriminación por polarización

El aislamiento de polarización es la relación entre la potencia recibida por la antena receptora de dos ondas con diferente dirección y polarización. Siendo la relación de desacoplamiento por polarización, la relación entre la componente de la polarización deseada y la ortogonal de la misma. Con estos valores se puede determinar la discriminación que puede realizar una antena respecto a las señales interferentes.

Por ejemplo, para poder calcular la discriminación por polarización cruzada debida a la lluvia, según la Recomendación UIT-R S.736-3:

$$Dx_{lluvia} = U - V(f) \log A_p \quad [dB] \quad (15)$$

Donde,

A_p : atenuación debida a la lluvia (dB) excedido en tiempo p para el trayecto

$V(f)$: valor máximo a 20 entre 8 GHz y 15 GHz

$U: U(f, \varepsilon_S, \tau, \sigma)$

3.2 Diseño

Una vez analizado todo lo necesario para la implantación del sistema de radiocomunicaciones, se debe plantear el diseño del mismo. Para poder llevar a cabo las representaciones y ayudar en la mejora de las configuraciones del enlace, se van a utilizar principalmente dos *softwares* libres. Por un lado, se hace uso del Google Earth, cual proporciona una vista en 3D de los diferentes rincones del mundo. Y por otro, el programa Radio Mobile con la que se pueden realizar simulaciones de transmisión y recepción entre las antenas, pudiendo configurar diferentes características de las mismas y obteniendo informando sobre niveles de potencia de transmisión y recepción, así como del valor de PIRE.

3.2.1 Definición final de los elementos

En este apartado, se definirán con exactitud, mediante las características analizadas, los diferentes elementos que se van a utilizar para el radioenlace. Para empezar, y teniendo en cuenta la altura de los edificios donde el de Zamudio tiene unos 8'5 m y el de Derio 7'5 m, se ha definido una longitud de mástil suficiente para poder alcanzar una visión correcta entre ambas antenas. Además, se ve necesario que la altura sea la justa y necesaria y así evitar que la antena sobre salga demasiado del tejado. De esta manera, el mástil será de 2 m de largo, lo cual proporciona una correcta colocación de la antena, además de evitar el impacto visual desde los alrededores de la industria. Si a todo esto se le añade una adecuada posición en la cima de la empresa, se da la posibilidad de ganar altura, puesto que las azoteas no son planas.

Con estas características básicas, y con el uso de la herramienta de Google Earth, cual ofrece unas buenas condiciones para realizar las vistas por satélite, se puede simular la visibilidad del radioenlace de una manera más real. Por lo tanto, introduciendo las coordenadas necesarias y situando las antenas en las zonas adecuadas para la

comunicación, se obtiene la siguiente captura del terreno donde se va a realizar la radiocomunicación:

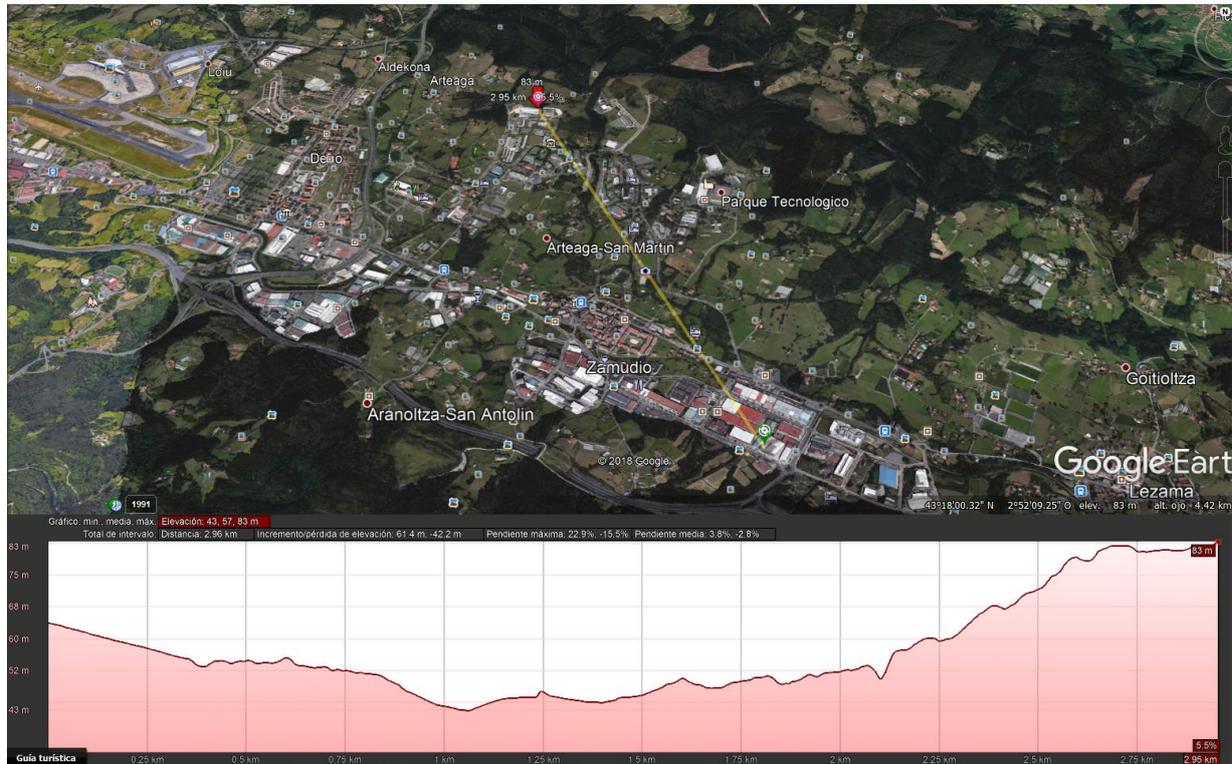


Figura 14 Perfil de elevación Zamudio-Derio

En ella, se puede observar que se trata de una conexión de 2'95 km de distancia, donde una de las plantas se sitúa unos 19 m más alto respecto al otro. Pero en todo caso, aun siendo conscientes de que la conexión pasa por encima del pueblo de Zamudio, la visibilidad entre ambas es correcta. Es por ello, que la base del proyecto empieza desde un punto positivo para poder realizar la comunicación correctamente.

Por lo tanto, se procede a la decisión del tipo de antena a utilizar para el proyecto. Debido a la necesidad de configurar una comunicación bidireccional, siendo la misma hacia ambos lados, se ve conveniente el uso de dos antenas de las mismas características. Para ello, primero se ha analizado las diferentes opciones de antenas que se pueden encontrar en el mercado y sus especificaciones, teniendo en cuenta que el sistema a realizar es un radioenlace exterior punto a punto con alcance medio. Como conclusión del análisis de las características de los tipos de antena existentes, se ve apropiado el uso de antenas planas, también llamados Flat Panel. Este tipo de reflectores suministran una ganancia entre 14 y 24 dB y son muy directivas para este modelo de conexiones punto a punto. Además,

proporcionan enlaces de hasta 5 km de alcance, lo cual engloba con creces la distancia existente entre las dos plantas.

Por otro lado, se opta por utilizar las antenas con frecuencia de trabajo de 5 GHz debido al libre uso de las bandas, sin necesidad de realizar un gasto extra, y las posibilidades de alcance que proporcionan frente a frecuencias más altas. Dentro de esta frecuencia, se plantea el uso de la banda 5725-5875 MHz, lo cual permite una PIRE máximo de 36 dBm (4 W) y, por lo tanto, proporciona mayor alcance que las bandas bajas.

La antena que se propone para cubrir las características descritas es un modelo de antena airFiber X (del fabricante Ubiquiti) que cubre todas las bandas (5.1 GHz - 5.9 GHz). Se trata de AF-5G23-S45 un diseño innovador que mejora el aislamiento de RF con el fin de reducir las interferencias y ofrecer buenas ganancias.

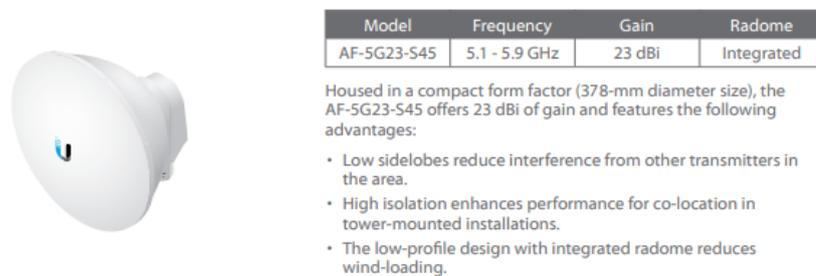


Figura 15 Antena AF-5G23-S45
Consultado en: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_Antennas_DS.pdf

Tal y como se especifica en su *datasheet* se ofrece una ganancia de 23 dBi. Este valor es suficiente para el alcance a realizar, puesto que da una opción de 13 dBm de potencia para la transmisión sin excederse del límite de PIRE establecido para esta banda. Además, se trata de una antena con 37'8 cm de diámetro y con diseño resistente para la intemperie, reduciendo la carga del viento. Por lo que resultan unas buenas especificaciones para poder colocarlos en el techo.

Estas antenas se conectan directamente al retransmisor de la portadora de radio. Para ello, la misma empresa proporciona uno compatible con la antena escogida, en este caso se trata del modelo AF-5X que también trabaja en toda la banda de los 5 GHz. En su propio *datasheet* se indica la posibilidad de variar su configuración según los requisitos requeridos. Uno de ellos, es el ancho de banda que se puede utilizar, lo cual permite escoger las velocidades que se quieran obtener. Esta decisión afecta a la sensibilidad de la antena, por lo tanto, se debe realizar una configuración adecuada de modo que el alcance de la señal sea óptimo.

AF-5X Receive Sensitivity						
Rate	Modulation	Sensitivity (10 MHz)	Sensitivity (20 MHz)	Sensitivity (30 MHz)	Sensitivity (40 MHz)	Sensitivity (50 MHz)
8x	256QAM MIMO	-66 dBm	-64 dBm	-62 dBm	-61 dBm	-60 dBm
6x	64QAM MIMO	-74 dBm	-71 dBm	-69 dBm	-68 dBm	-67 dBm
4x	16QAM MIMO	-81 dBm	-78 dBm	-76 dBm	-75 dBm	-74 dBm
2x	QPSK MIMO	-88 dBm	-85 dBm	-83 dBm	-82 dBm	-81 dBm
1x	½ Rate QPSK xRT	-90 dBm	-87 dBm	-85 dBm	-84 dBm	-83 dBm

Tabla 5 Sensibilidad definida por ancho de banda
Consultado en: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf

AF-5X Capacity (Mbps)						
Rate	Modulation	Channel Width (MHz)				
		10	20	30	40	50
10x	1024 QAM MIMO	128.0	259.2	384.0	502.4	617.6
8x	256 QAM MIMO	102.4	207.3	307.2	401.8	494.1
6x	64 QAM MIMO	76.8	155.5	230.4	301.4	370.6
4x	16 QAM MIMO	51.2	103.7	153.6	200.9	247.0
2x	QPSK MIMO	25.6	51.8	76.8	100.4	123.5
1x	½ Rate QPSK xRT	12.8	25.9	38.4	50.2	61.8

Tabla 6 Capacidad máxima por ancho de banda
Consultado en: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf

En este caso, se ha optado por un ancho de banda de 30 MHz con una sensibilidad de la antena receptora de -76 dBm. De esta manera, se obtiene un mayor margen para poder recibir correctamente la señal que llega a la antena. Por otro lado, la velocidad máxima que proporciona este ancho de banda es de unos 153'6 Mbps, ofreciendo un buen tráfico de datos entre ambas plantas.

Por último, la polarización ofrecida por la antena es Dual-Linear, lo que indica que puede funcionar en polarización lineal, tanto en horizontal como en vertical. Para ello, utiliza un aislamiento de polarización cruzada de mínimo 35 dB.

Una vez se haya valorado la antena a instalar, se procede con los cables y conectores a utilizar para poder valorar las pérdidas que puedan añadir a la conexión que se va a realizar. Para ello, se tiene en cuenta un cable coaxial con impedancia característica de 50 Ω y que sea apto para el uso de frecuencias de 5 GHz. Por otro lado, sería conveniente que sea un cable tanto para interior como para exterior, puesto que la conexión se realiza por ambos ambientes.

Por lo tanto, se ha analizado el cable coaxial CA-400 LMR-400 que cumple con las especificaciones comentadas y proporciona bajas pérdidas. En el caso de este proyecto, donde se hace uso de la frecuencia de trabajo de 5 GHz, se observa que tendrá una atenuación de 32'81 dB por cada 100 m.

Frecuencia Mhz	Atenuación db/100m	Aguante de potencia KW
30	2.49	0.76
50	3.18	0.97
150	4.92	1.50
220	6.23	1.9
450	8.86	2.7
900	12.8	3.9
1500	16.7	5.1
1800	18.4	5.6
2000	19.4	5.9
2400	21.65	6.6
2500	22.0	6.7
3000	24.6	7.5
4000	28.87	8.8
4500	30.84	9.4
5000	32.81	10.0
5200	33.46	10.2
5500	34.78	10.6
5800	35.76	10.9
6000	36.42	11.1

Tabla 7 Atenuación del cable coaxial
Consultado en: <https://www.ondamania.com>

En el sistema que se quiere implantar, la distancia a cubrir por el cable coaxial es de aproximadamente 10 m, es por ello que la pérdida se reduce a $A = 32'81/100 \cdot 10 = 3'281dB$ por cada edificio.

En cuanto a los conectores utilizados para la conexión serán de tipo SMA, puesto que son las fabricadas para frecuencias de microondas y a la vez, las que han sido determinadas por el fabricante de las antenas Ubiquiti.

Con todos los datos definidos, se realizan los últimos cálculos para poder asegurar que se han escogido las características apropiadas para este radioenlace. Para empezar, se calcula el PIRE final, teniendo en cuenta la ganancia de 23 dBi de la antena y la atenuación del cable. Este valor no debe exceder de los 36 dBm:

$$PIRE = P_T - A_{cable} + G_A \rightarrow P_T = 36 + 3'281 - 23 = 16'281dBm \quad (16)$$

La potencia recibida según las especificaciones de los componentes del sistema es el siguiente:

$$P_{RX}(dBm) = 16'281dBm - 3'281dB + 23dBi - 115'77dB + 23dBi - 3'281dB = -60'051dBm \quad (17)$$

Tal como se indica en el *datasheet* de la antena, para un ancho de banda de 30 MHz la sensibilidad de la misma es de -76 dBm. Por lo tanto, la potencia alcanzada por la antena receptora cumple con la condición mínima para poder recuperar la señal enviada y se concluye una conexión adecuada por frecuencia de microondas.

Puesto que de manera teórica parece que el diseño del sistema de radiocomunicaciones es correcto, se utiliza el simulador Radio Mobile para ver si en la realidad se conseguiría la comunicación con la misma efectividad. Para ello, se configura tanto la parte del radioenlace, donde se define la banda de frecuencia a utilizar, así como las diferentes características de la antena.

Para empezar, se ha definido el ancho de banda de 30 MHz en la banda alta de los 5 GHz, siendo las frecuencias laterales 5730 MHz y 5760 MHz. Y para la topología, se hará uso de la red de datos.

Después, se procede con la definición de las antenas, ambas con datos iguales (excepto la altura) debido a la necesidad del sistema bidireccional. Por lo tanto, se configuran la potencia de transmisión de 16'28 dBm, sensibilidad (*Receiver threshold*) de -76 dBm, ganancia de 23 dBi y pérdidas de cableado por la altura de la antena (3'281 dB/m).

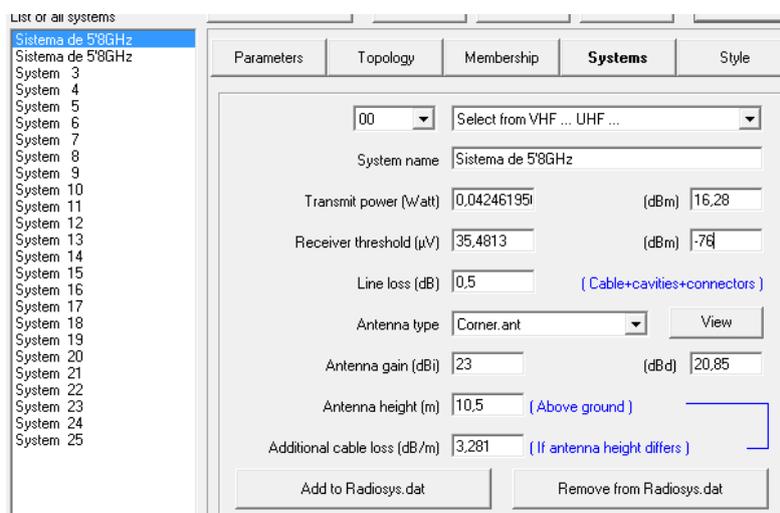


Figura 16 Configuración de las antenas

También se debe tener en cuenta la necesidad de una antena directiva, donde se observa que la más adecuada según su diagrama de radiación es la Corne.ant:

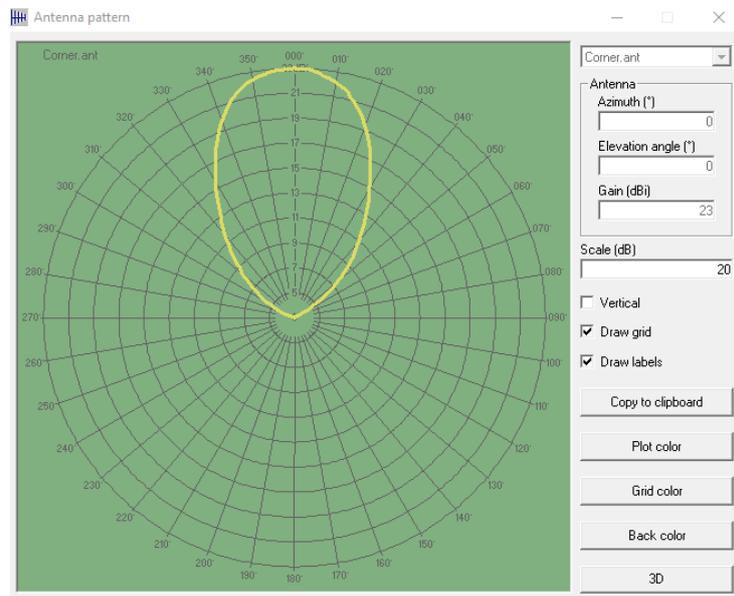


Figura 17 Diagrama de radiación de la antena

Con todas estas configuraciones detalladas, el programa hace la simulación de las dos comunicaciones que se realizan entre las antenas. Donde en ambas, tanto la transmisión como la recepción de la señal, adquieren valores adecuados (señalizados por medio de un nivel de colores) dibujadas mediante una línea verde. Esta gráfica da mucha información sobre la conexión que se realiza entre las dos antenas.

Por un lado, se indica el trayecto desde Zamudio a Derio, donde se puede observar el lóbulo que marca la zona de Fresnel, en este caso sin apenas obstáculos. En la información situada en la parte de arriba, indica que se ha generado una obstrucción de -0'8 dB. Sobre la pérdida de trayecto, se advierte una atenuación de 123'8 dB. En caso de comparar con los datos obtenidos teóricamente, se ha calculado aproximadamente 116 dB, apenas varía del análisis realizado.

Por otro lado, el EIRP se sitúa por debajo de los 4 W cumpliendo la ley del estado español, cual define el máximo PIRE permitido para la frecuencia de 5'8 GHz. Es por ello, que la potencia utilizada en transmisión permite recibir un nivel de señal de -65'3 dBm (-60'051 dBm teóricos), lo cual entra dentro del rango establecido por la sensibilidad de -76 dBm.

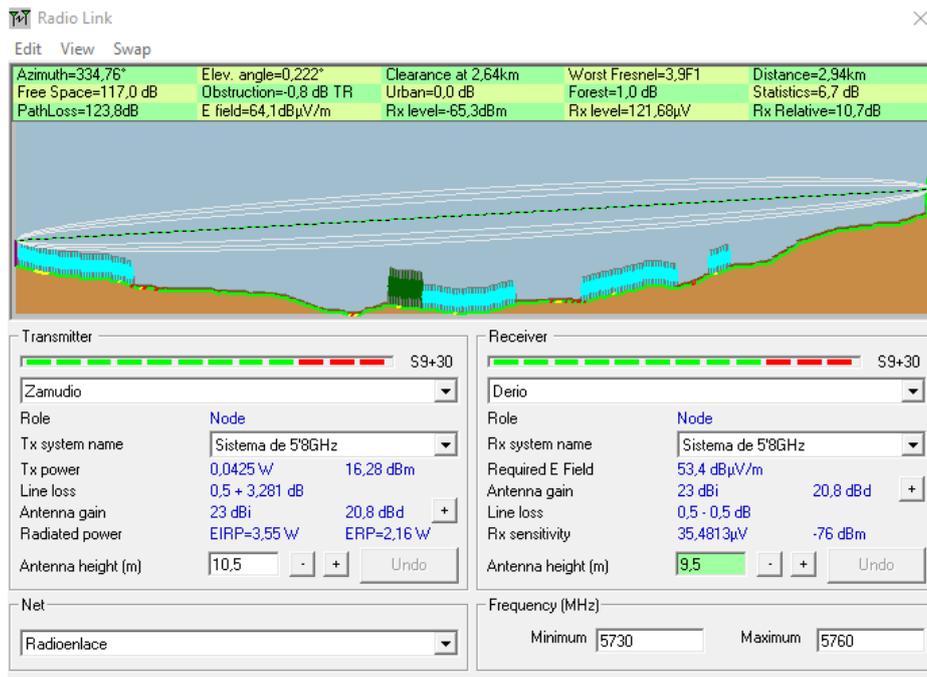


Figura 18 Simulación del radioenlace Zamudio-Derio

Seguido, se realiza la simulación desde Derio a Zamudio para poder asegurar que esta conexión también es óptima, puesto que el objetivo del proyecto es poder realizar la misma conexión en ambos lados. Y por lo que se puede ver en el Radio Link, la situación es prácticamente la misma.

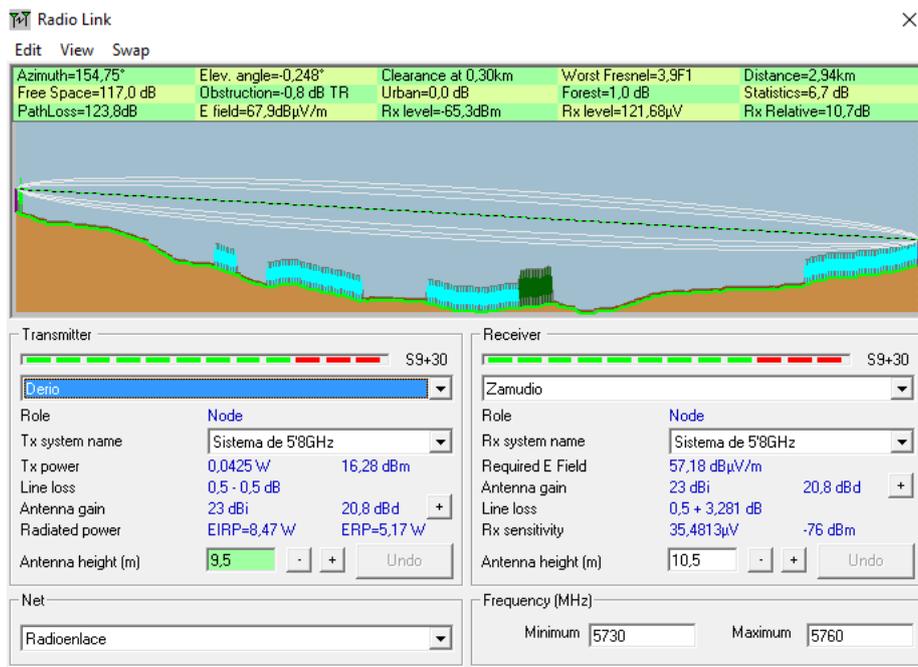


Figura 19 Simulación del radioenlace Derio-Zamudio

En conclusión, se puede proceder a realizar el diseño de la arquitectura que llevará la instalación del sistema del radioenlace, puesto que el material asignado cumple con los requisitos mínimos para una correcta comunicación del sistema. Además, se establece una velocidad máxima de 153'6 Mbps. Superando con creces la velocidad actual de 34 Mbps.

3.2.2 Diseño del sistema

El procedimiento a realizar para la conexión de los elementos se basa en los diferentes análisis realizados. Para este proyecto en particular las instalaciones que se realizan en los dos edificios son prácticamente iguales, siendo la principal diferencia la colocación de la antena.

Las dos ubicaciones que se quieren unir mediante el radioenlace están en los pueblos de Zamudio y Derio (Bizkaia). Ambos son pueblos continuos con una población media de 5.000 habitantes, lo cual indica que no hay mucha edificación, y con construcciones bajas. El único inconveniente que puede surgir, es debido a la zona en la que se encuentran, puesto que la planta de Zamudio se sitúa en un parque industrial y el de Derio en un parque tecnológico. Pero tal como se ha reflejado en el perfil de elevación, hay visualización suficiente entre ambas, además de no haber ningún obstáculo de por medio.

Una vez presentado la ubicación del sistema de radiocomunicaciones, se hace hincapié importante en el cumplimiento de prevención de riesgos. Ya que para el proyecto será necesario un técnico especializado en trabajos de altura (cual la titulación será obligatoria para asegurar la capacitación del mismo). Esto se debe al lugar de trabajo de los mismos, puesto que la mayoría del trabajo a realizar será en las azoteas de ambos edificios.

Por lo tanto, una vez contratado el técnico, se procede a la colocación del mástil de 2 m. Es muy importante situar correctamente en cada planta, puesto que cada uno de los tejados es diferente. Por un lado, se define la localización que tendrá en el pabellón de Zamudio. En este caso, al no tratarse de una cubierta rasa, se escoge el punto más alto de la misma. De esta manera, se pretende evitar lo máximo posible el contacto que puede tener con las demás empresas del parque.

Por otro lado, la parte de arriba de la delegación de Derio se termina en pico (Δ), lo cual permite ganar algo de altura en uno de los puntos centrales. Además, se ha definido el punto más cercano a la otra planta. Por lo tanto, se coloca en la parte derecha del edificio. De este modo, se intenta reducir la distancia máxima que hay entre las antenas, a la par que se mejora en la calidad del alcance de la comunicación.

Mediante el uso del Google Earth, se ha realizado una captura para poder identificar con más claridad la situación de las dos plantas, así como el lugar de las antenas sobre ellas.

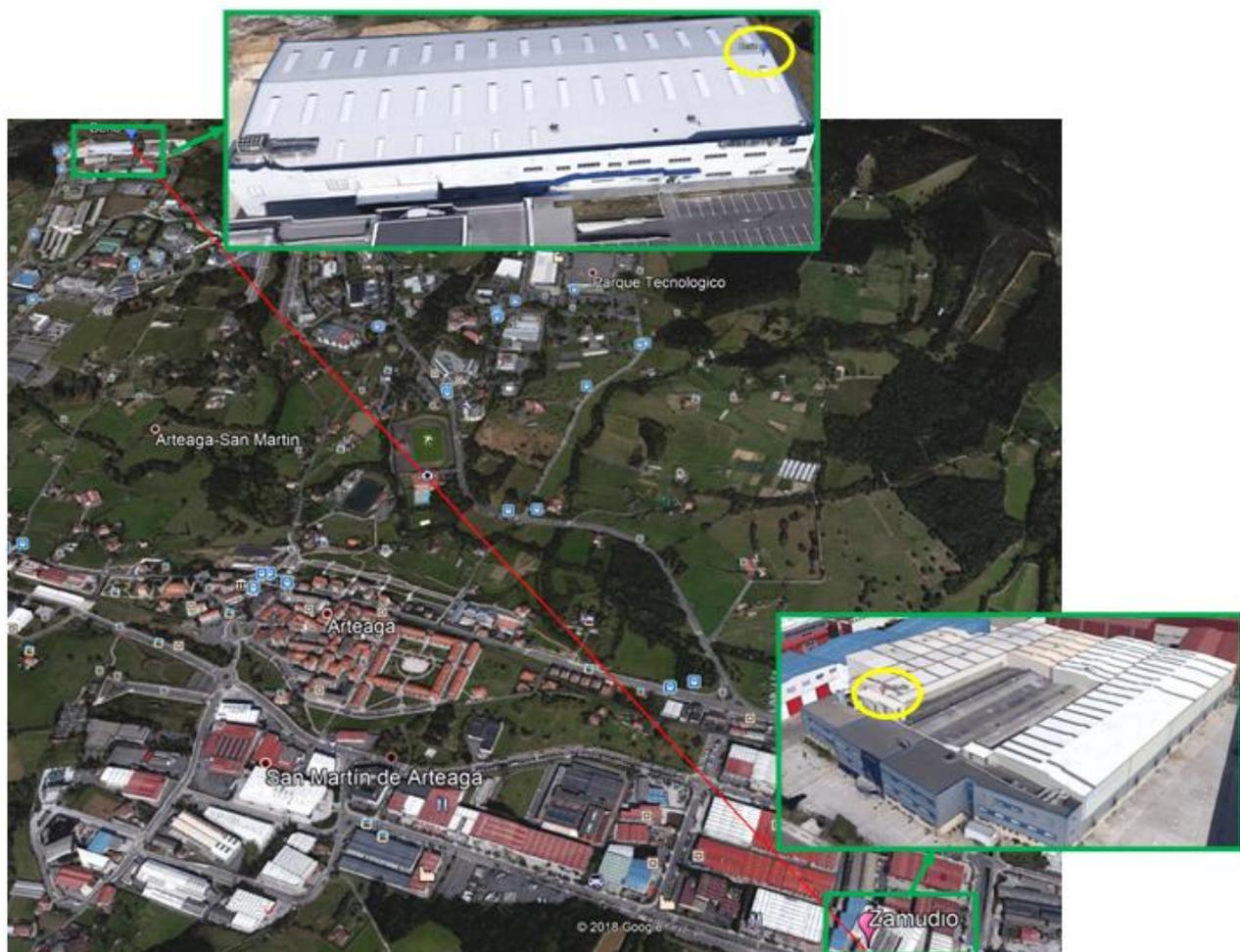


Figura 20 Ubicación del radioenlace

Una vez situados los mástiles, se procede con la colocación de las antenas Ubiquiti seleccionadas, a 2 m de altura sobre el asta, con un Azimut y elevación específicos para que ambas tengan una visión directa. El primer valor indica el ángulo creado con el norte, es decir, el ángulo horizontal al que se debe girar el eje de la antena (en sentido de las agujas del reloj) desde el norte hasta la otra antena. En cambio, la elevación es la inclinación respecto al horizonte.

Por lo tanto, y teniendo en cuenta los valores dados por el software Radio Mobile, donde el radioenlace se ha creado correctamente, el azimut para la antena situada en Derio será de $154^{\circ}75'$, mientras que para la de Zamudio se debe girar $334^{\circ}76'$.

En cambio, la elevación para la situada en Derio debe ser de $-0'248^{\circ}$ y para la otra de $0'222^{\circ}$. Estos datos tienen su razonamiento y es que la posición que tiene la antena de Derio prácticamente está orientada hacia el sur. Por otro lado, sabiendo que geográficamente el primero se encuentra unos metros más altos que el de Zamudio, es lógico que para que ambos se apunten directamente la elevación de uno deba ser más bajo que el horizonte, mientras que el otro se deba elevar algo más.

El siguiente paso es la conexión de la antena al *switch* situado en el CPD de cada planta. En el caso de Zamudio, este se sitúa en la segunda entre planta, justo debajo de la antena. Es por ello, que aparentemente no habrá ninguna complicación para poder realizar dicha conexión. Una de las puntas del coaxial será conectada en el AF-X5 mediante el conector SMA (especificado por el fabricante de las antenas) y mediante la canaleta existente se envía el cable hasta el centro de procesamiento. En esta habitación, la tubería se sitúa justo en la parte trasera de los dispositivos, por lo que se conectará a la primera de ellas. La elección del *switch* al que conectar, se ha decidido por la configuración que tiene realizada, y es que estas se sitúan en cascada, de modo que el principal es el primero de todos. Por otro lado, es donde se une actualmente el sistema MPLS que se está utilizando.

En cambio, en la sucursal de Derio, la habitación del CPD se encuentra en la última planta, pero no exactamente debajo de la instalación, por lo tanto se debe diseñar la instalación del cableado. Lo más adecuado para este caso, es el uso de la canaleta hasta el extremo más cercano de tejado, donde se sitúa una tubería que accede al cuarto de procesado. Desde esta canaleta, se accede directamente a la parte trasera del *switch*, del mismo modo que en la planta de Zamudio. Por lo tanto, los pasos a seguir de aquí en adelante son exactamente los mismos. Uno de los extremos del cable se conecta en el AF-X5 y el otro extremo, al dispositivo donde actualmente llega el sistema MPLS.

Por lo tanto, en ambas situaciones, el uso del cableado es de aproximadamente 10 m, con la diferencia del modo de empleo. Puesto que en edificio de Zamudio se utilizan pocos metros en el exterior (de la antena al tejado) y más para el paso interior hasta la segunda entre planta. Al contrario, para Derio es necesario mayor cantidad de metros de coaxial en la azotea para poder acceder a la canaleta existente en uno de los extremos del edificio, y en menor lugar se utiliza para la bajada y posterior conexión. Es por ello, la importancia que tiene las características del cableado coaxial para este proyecto, ya que debe soportar tanto las condiciones externas como las internas.

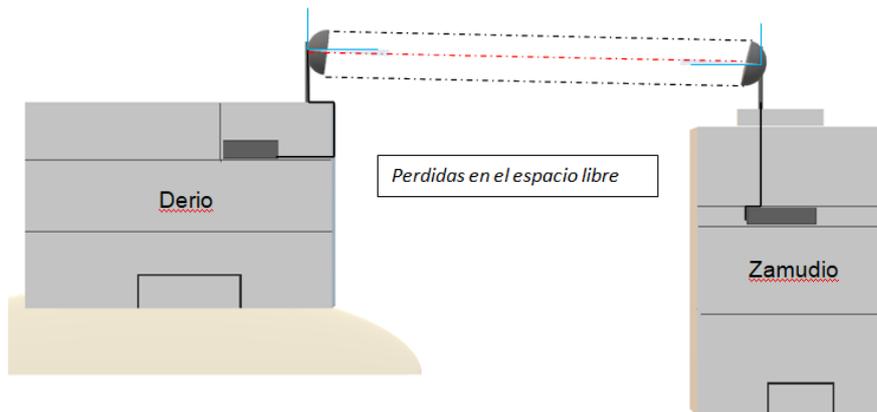


Figura 21 Sistema de radioenlace

Después de terminar toda la instalación física, es momento de realizar la configuración interna de las antenas y los retransmisores. Debido a la elección de las antenas AIR Fiber para este proyecto, se permite la definición de los parámetros de una manera sencilla, puesto que se realiza conectándose a ella mediante un ordenador e introduciendo la dirección IP que tienen por defecto en el navegador:

IP: 192.168.1.20

User: ubnt

Pass: ubnt

Figura 22 Configuración inalámbrica
Consultado en: <https://forum-es.ubnt.com>

Una vez introducido los valores de la conexión inalámbrica de ambos reflectores (sobre todo la frecuencia de trabajo y banda ancha), se realiza la comprobación de la conexión radioenlace. Para ello, se debe acceder a la pestaña "Main" donde se da la información real obtenida en el sistema de radiocomunicaciones instalada, tanto de las velocidades como de las potencias de transmisión y recepción, dando por finalizado el proyecto.

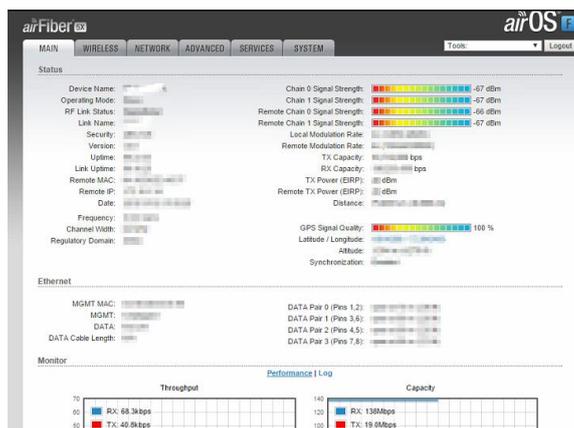


Figura 23 Resultados de un radioenlace
Consultado en: <https://forum-es.ubnt.com>

	Sistema a realizar	
Tipo de comunicación	Radioenlace	Actual MPLS
Distancia Tx-Rx	2'95 km	
Altura antena desde suelo (Zamudio)	10'5 m	
Altura antena desde suelo (Derio)	9'5 m	
Medida mástil	2 m	
Frecuencia de trabajo	5'8 GHz	
Ganancia antena	23 dBi	
Sensibilidad antena	-76 dBm	
Potencia transmitida	16'28 dBm	
Ancho de banda	30 MHz	
Velocidad (teórica)	153'6 Mbps	Actual 34 Mbps
Atenuación del cableado	3'281 dBm	

Tabla 8 Resumen de los valores principales del radioenlace

4. FUTUROS TRABAJOS

En este último apartado, se explican los futuros trabajos a realizar una vez aprobado este proyecto, cual abarca la instalación del sistema de radioenlace diseñado en puntos anteriores. Para ello, será necesario que los dos técnicos especializados acudan a las plantas industriales con el material definido.

Se empezará realizando la instalación de las antenas en cada uno de los pabellones, donde se ve conveniente destinar a cada trabajador a una sede, con el fin de realizar las distintas configuraciones; puesto que, estas funciones se pueden realizar de un modo paralelo. De esta manera, mediante la coordinación entre los dos resultará más fácil y rápida la configuración de las antenas.

Una vez todos estén situados, primero se deben ajustar los mástiles en las localizaciones definidas en el proyecto, ya que es en estos puntos donde se garantiza la buena conexión (resultado de los análisis teóricos y simulaciones realizados). Por lo tanto, uno de los técnicos acudirá a la planta de Zamudio y realizará la instalación del mástil. Donde seguidamente, situará la antena AF-5G23-S45 en lo alto del mismo, con un azimut de $334^{\circ}76'$ y elevación de $0^{\circ}22'22''$. Mientras tanto, el otro trabajador deberá realizar lo mismo en Derio, pero con un azimut de $154^{\circ}75'$ y elevación de $-0^{\circ}24'48''$.

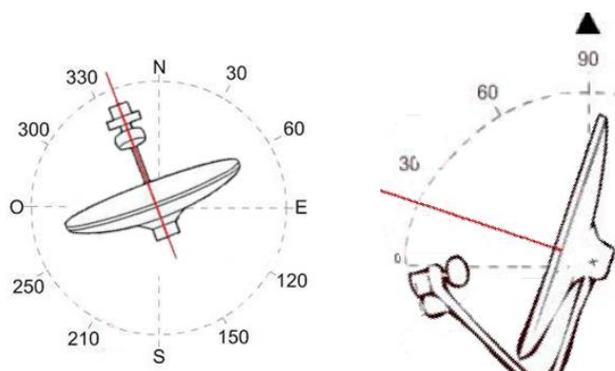


Figura 24 Azimut y elevación de la antena de Zamudio

Una vez configurado las dos antenas, se procede con las conexiones del retransmisor de la portadora de radio AF-5X mediante los conectores SMA que el fabricante tiene habilitados para ellos.



Figura 25 Conexión de la antena con AF-5X

El siguiente paso, es el envío del cableado coaxial desde la antena, que será acoplado mediante conectores SMA, a cada uno de los CPD. Para ello, se debe realizar los pasos adecuados para cada planta, definidos en el proyecto, puesto que no se sitúan en el mismo sitio y el traslado de ambas es diferente. Siendo el recorrido de la planta de Zamudio casi directo (desde la antena hasta el cuarto) y en el caso de Derio, se debe acercar el cableado a la canaleta situado en el tejado. Después, se realizará la otra parte de la conexión al *switch* principal, con el fin de poder transmitir los datos de una manera adecuada.

Por último, ambos técnicos deberán de acceder a las antenas correspondientes mediante un equipo para poder configurarlos. Para ello, accederán mediante los siguientes datos, he introducirán la información obtenida de los análisis y diseño para las antenas:

IP: 192.168.1.20

User: ubnt

Pass: ubnt

De esta manera, se podrá observar la señal emitida, así como la recibida, con sus respectivas potencias y velocidades, dando por finalizado la conexión de radioenlace entre ambas plantas.

5. CONCLUSIONES

En este proyecto se realiza un diseño de radioenlace entre las dos sedes de la misma multinacional que se sitúan en pueblos contiguos, con los principales objetivos de conseguir una mayor velocidad de transmisión de datos y eliminación de la cuota a pagar a una empresa subcontratada de telecomunicaciones.

Tras los análisis y estudios realizados, se obtienen unos valores tanto teóricos como simulados, muy positivos de cara a los resultados a conseguir. La adecuada elección de los materiales y sus características, hacen posible el diseño del sistema de radiocomunicación con propiedades muy aceptables, donde la señal realiza una conexión entre ambas antenas con la potencia necesaria.

Para ello, se han tenido en cuenta los siguientes puntos principales:

- La elección de la ubicación de las antenas
- La infraestructura de los pabellones
- La infraestructura a instalar y sus especificaciones: antenas, mástil y cableado
- La visión directa existente entre las dos plantas

El conjunto de todo ello, consigue mejorar la red de comunicación actual, aumentando la velocidad de bits en más de un 400%, a la vez que se reduce el coste de sistema de comunicación a pagar por la empresa. Siendo una inversión de proyecto optimista tanto para el negocio, como para los usuarios, puesto que facilita el trabajo del día a día.

Por último, teniendo en cuenta las predicciones meteorológicas de la zona, se propone la instalación física del sistema en estaciones del año menos lluviosos, con el fin de conseguir la menor duración del proyecto. De este modo, se revela un radioenlace sencillo y fácil de implantar.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Antena13. Carlos Andrés Romero Parada. "Parámetros de una antena", de <http://antenas13.blogspot.com.es/p/parametros-generales-de-una-antena.html>
- [2] BOE-A-2017-12318. Octubre de 2017. "III. Otras disposiciones. Ministerio de energía, turismo y agenda digital", de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-12318>
- [3] CFGM Equipos Electrónicos. "Apuntamiento de antenas satélite y canales", de <https://sites.google.com/site/equiposdeimagingmfp/1-transmision-de-television/2-antenas-de-television/apuntamiento-de-antenas-satelite>
- [4] Cisco. "Preguntas frecuentes sobre MPLS para principiantes", de https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/multiprotocol-label-switching-mpls/mpls/4649-mpls-faq-4649.pdf
- [5] Comunicación Microondas. Daniel. Mayo de 2012. "Redes de radio enlace de microondas", de <http://comunicacionmicroondas.blogspot.com.es/2012/05/redes-de-radio-enlace-de-microondas.html>
- [6] Emopa Sistemas Profesionales. Grupo EMOPA. Noviembre de 2015. "Unión de redes mediante Radioenlace. Instalación de redes" de, <http://www.emopa.com/blog/grupo-emopa/union-de-redes-mediante-radioenlace/>
- [7] Facultad de Ciencias físicas y matemáticas de Universidad de Chile. Franco Curotto, Sebastian Espinosa y Mario Vergara. Octubre de 2012. "Antenas, Polarización y Diagramas de Radiación", de https://www.u-cursos.cl/usuario/9553d43f5ccbf1cca06cc02562b4005e/mi_blog/r/Informe_Antenas.pdf
- [8] ITrainOnline. Sebastian Buettrich. Octubre 2007. "Unidad 06: Cálculo de Radioenlace", de http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf
- [9] Radio Comunicaciones, Radio & Engineering Company SL. Pedro Ruesca. Septiembre de 2016. "Radio enlace - ¿Qué es un radioenlace?", de <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/radio-enlace-que-es-un-radioenlace/>
- [10] Radioenlaces. Francisco Ramos. "Cálculo de interferencias", de <http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-interferencias/>

- [11] Radioenlaces. Francisco Ramos. "Cálculo de la atenuación por lluvia en un radioenlace", de <http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-lluvia-en-un-radioenlace/>
- [12] Radioenlaces. Francisco Ramos. "Pérdidas en obstáculos", de <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>
- [13] Ramon Millan. Jose Manuel Huidobro Moya y Ramon Jesus Millan Tejedor. "MPLS (MultiProtocol Label Switching)", de <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/mps.php>
- [14] Rec. UIT-R M.1450-1. 2000-2002. "Características de las redes radioeléctricas de área local de banda ancha", de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1450-1-200207-S!!PDF-S.pdf
- [15] Rec. UIT-R P.525-2. 1978-1982-1994. "Cálculo de la atenuación en el espacio libre", de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-!!!PDF-S.pdf
- [16] REC. UIT-R P.838-3. 1992-1999-2003-2005. "Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción", de <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.838-3-200503-l/es>
- [17] Scielo. J. M. Hernández García, M. A. Reina y A. Vidal Marcos. Septiembre-octubre de 2015. "Fluoroscopia y protección radiológica en tratamiento del dolor", de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-80462015000500006
- [18] Simon. "La guía definitiva para entender el cable coaxial", de <http://www.ea1uro.com/pdf/SIMON-guia-definitiva-cable-coaxial.pdf>
- [19] SlideShare. Edison Coimbra G. Abril de 2013. "Radioenlaces por microondas-cálculos de trayectoria" de <https://es.slideshare.net/edisoncoimbra/66-calculos-de-radioenlaces>
- [20] TDT Profesional. "Antenas parabólicas planas", de <https://www.tdtprofesional.com/es/satelite/antenas-satelite-y-soportes/antenas-planas.html>
- [21] Tina (s.f). "Comprender la necesidad de línea de visión (LoS) en la comunicación inalámbrica", de <http://www.tina.com.tr/index.cgi?tag=dir&cid=34402>
- [22] TVC. Julio de 2014. "Características de cables coaxiales, normas, calibres, composiciones", de <http://foro.tvc.mx/kb/a441/caracteristicas-de-cables-coaxiales-normas-calibres-composiciones.aspx>

[23] UBNT. "Problemas air fiber 5x sin poder enlazar", de <https://forum-es.ubnt.com/discussion/1279893/problemas-air-fiber-5x-sin-poder-enlazar/p2>

[24] Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia. "Antenas", de <http://www.upv.es/antenas/>

7. Datasheet

- AirFiber 5X

https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_5XHD_DS.pdf

- AirFiber X

https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf

- AirFiber X Antenna

https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_Antennas_DS.pdf

- Cable coaxial CA-400 LMR-400

<https://www.ondamania.com/b2c/producto/02phlmr400/1/ca-400-cable-coaxial-50-ohm-baja-perdida-tipo-lmr-400>

- Conector SMA

<https://es.rs-online.com/web/c/conectores/terminales-de-carril-din-y-bloques-terminales/conectores-sma/>

- Mástil

<https://www.diesl.es/Mastil-RPR-2m-x-O40-mm-x-Espesor-125mm-televes>

8. Software

- Google Earth

<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

- Radio Mobile

<http://www.ve2dbe.com/english1.html>