



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

TELECOM ESCUELA  
TÈCNICA VLC SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

# IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO WIFI EN LA ZONA DE MILLARES Y DOS AGUAS

**Autor: Irene Gozálbez Gilabert**

**Tutor: Lorenzo Rubio Arjona**

Trabajo Fin de Grado presentado en la  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Telecomunicación de la Universitat  
Politécnica de València, para la obtención  
del Título de Graduado en Ingeniería de  
Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación

Curso 2018-19

Valencia, 3 de julio de 2019

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación

Universitat Politècnica de València

Edificio 4D. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia

Tel. +34 96 387 71 90, ext. 77190

[www.etsit.upv.es](http://www.etsit.upv.es)

**VLC/**  
**CAMPUS**  
VALENCIA, INTERNATIONAL  
CAMPUS OF EXCELLENCE



# Resumen

En el presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se ha implementado un radioenlace digital que permite el acceso al servicio WiFi en las localidades de Millares y Dos Aguas, con el objetivo de reducir la brecha digital y frenar el despoblamiento de las zonas rurales.

En esta memoria se recopila información sobre el proceso llevado a cabo para su implementación, en el que se incluye tanto la planificación previa requerida, como el despliegue de la red troncal y de la red de acceso, y el posterior análisis de los resultados obtenidos. Para ello, se ha hecho uso de la herramienta LinkPlanner, empleando los equipos de Cambium Networks. El radioenlace se ha dimensionado para cumplir el throughput objetivo requerido, maximizando su disponibilidad. Finalmente, se ha elaborado un presupuesto real en el que se ha calculado el payback, o plazo de recuperación de la inversión, garantizando la viabilidad del proyecto.

Para finalizar el trabajo, se incluye en los anexos tanto el informe relativo al despliegue del radioenlace como las hojas de especificaciones de los equipos empleados.

# Resum

En el present Treball Fi de Grau (TFG) s'ha implementat un radioenllaç digital que permet l'accés al servici WiFi en les localitats de Milers i Dosaigües, amb l'objectiu de reduir la bretxa digital i frenar el despoblament de les zones rurals.

En aquesta memòria es recopila informació sobre el procés dut a terme per a la seua implementació, en el que s'inclou tant la planificació prèvia requerida, com el desplegament de la xarxa troncal i de la xarxa d'accés, i la posterior anàlisi dels resultats obtinguts. Per a això, s'ha fet ús de la ferramenta LinkPlanner, emprant els equips de Cambium Networks. El radioenllaç s'ha dimensionat per a complir el throughput objectiu requerit, maximitant la seua disponibilitat. Finalment, s'ha elaborat un pressupost real en què s'ha calculat el payback, o termini de recuperació de la inversió, garantint la viabilitat del projecte.

Per a finalitzar el treball, s'inclou en els annexos tant l'informe relatiu al desplegament del radioenllaç com els fulls d'especificacions dels equips emprats.

# Abstract

In this Bachelor's Thesis, a digital radio link that allows access to the WiFi service in the towns of Millares and Dos Aguas has been implemented, with the aim of reducing the digital divide and halting the depopulation of rural areas.

This report collects information of the process carried out for its implementation, including the required pre-planning, the deployment of the main and acces network, and the subsequent results analysis. To this end, the LinkPlanner tool has been used, using Cambium Networks equipment. The radio link has been sized to meet the required throughput target, maximizing its availability. Finally, a real budget has been drawn up in wich the payback, or investment recovery term, has been calculated, guaranteeing the viability of the project.

To complete the work, both the report of the deployment of the radio link and the specification sheets of the equipment used are included in the annexes.

# Índice de contenidos

<b>Capítulo 1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>10</b>
1.1.	Estudio de la necesidad .....	10
1.2.	Objetivos .....	11
1.3.	Organización de la memoria .....	12
<b>Capítulo 2.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>13</b>
2.1.	Gestión del proyecto .....	13
2.2.	Distribución de tareas .....	14
2.3.	Diagrama temporal de tareas .....	16
<b>Capítulo 3.</b>	<b>Tecnologías de acceso a Internet .....</b>	<b>17</b>
3.1.	Introducción a la banda ancha .....	17
3.2.	Opciones de servicio .....	18
3.2.1.	ADSL .....	18
3.2.2.	Fibra óptica .....	19
3.2.3.	Conexión por satélite .....	20
3.2.4.	WiMAX .....	21
3.2.5.	Tecnología 3G/4G/4G+ .....	22
3.3.	Radioenlaces digitales de servicio fijo .....	26
<b>Capítulo 4.</b>	<b>Diseño de la estructura de la red .....</b>	<b>28</b>
4.1.	Planificación del proyecto .....	28
4.1.1.	Localización .....	28
4.1.2.	Usuarios y tarifas .....	30
4.1.3.	Interferencias .....	32

4.2.	Despliegue de la red .....	33
4.2.1.	Despliegue de la red troncal .....	34
4.2.2.	Despliegue de la red en Millares .....	37
4.2.3.	Despliegue de la red en Dos Aguas .....	39
4.3.	Dimensionamiento de la red .....	41
<b>Capítulo 5.</b>	<b>Asignación de frecuencias .....</b>	<b>47</b>
5.1.	Red troncal .....	48
5.2.	Red de acceso .....	51
5.3.	Asignación de frecuencias .....	53
<b>Capítulo 6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>55</b>
6.1.	Cobertura radioeléctrica .....	55
6.2.	Disponibilidad .....	59
<b>Capítulo 7.</b>	<b>Equipamiento y presupuesto .....</b>	<b>62</b>
7.1.	Equipamiento .....	62
7.2.	Presupuesto .....	66
<b>Capítulo 8.</b>	<b>Conclusiones y líneas de trabajo futuras .....</b>	<b>69</b>
8.1.	Conclusiones .....	69
8.2.	Líneas de trabajo futuras .....	71
<b>Bibliografía .....</b>	<b>72</b>	
<b>Anexos .....</b>	<b>74</b>	

# Índice de Figuras

3.1. Esquema de conexión vía satélite .....	20
3.2. Mapa de cobertura Orange en la zona de Millares y Dos Aguas .....	23
3.3. Mapa de cobertura Movistar 3G en la zona de Millares y Dos Aguas .....	23
3.4. Mapa de cobertura Vodafone 3G en la zona de Millares y Dos Aguas .....	23
3.5. Mapa de cobertura Movistar 4G en la zona de Millares y Dos Aguas .....	24
3.6. Mapa de cobertura Vodafone 4G en la zona de Millares y Dos Aguas .....	24
3.7. Mapa de cobertura Movistar 4G+ en la zona de Millares y Dos Aguas .....	25
3.8. Mapa de cobertura Vodafone 4G+ en la zona de Millares y Dos Aguas .....	25
3.9. Línea de visión en un radioenlace .....	27
3.10. Primer elipsoide de Fresnel .....	27
4.1. Relieve de los municipios en los que se va a realizar el despliegue de la red .....	28
4.2. Relieve del municipio de Millares .....	29
4.3. Relieve del municipio de Dos Aguas .....	29
4.4. Radar meteorológico de Cullera .....	30
4.5. Esquema del despliegue de la red troncal .....	33
4.6. Ayuntamiento de Alzira. Punto de partida de la red .....	34
4.7. Requisitos máximos de distancia entre enlaces establecidos por Cambium Networks en función de la línea de visión .....	34
4.8. Punto de ubicación del repetidor empleado en el enlace entre Alzira y el HUB Principal .....	35
4.9. Punto de ubicación del HUB Principal .....	35
4.10. Línea de visión en la conexión entre Alzira y Repetidor .....	36
4.11. Línea de visión en la conexión entre Repetidor y HUB Principal .....	36
4.12. Línea de visión en la conexión entre el HUB Principal y el HUB de Millares .....	37
4.13. Enlace PMP entre HUB Principal y Millares (afueras) .....	38
4.14. Enlace PMP desde el HUB de Millares hasta cada hogar .....	38
4.15. Enlace PTP desde el HUB Principal hasta el HUB de Dos Aguas .....	39
4.16. Línea de visión en la conexión entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas .....	39
4.17. Enlace PMP desde el HUB de Dos Aguas hasta cada hogar .....	40
4.18. Esquema del <i>throughput</i> obtenido en cada vano .....	45

5.1. Regiones establecidas para la atribución de las bandas de frecuencias .....	48
5.2.a. Cuadro de atribución correspondiente a la banda 11 GHz .....	50
5.2.b. Cuadro de atribución correspondiente a la banda 11 GHz .....	50
5.3. Canalización de la banda 10,7 – 11,7 GHz .....	50
5.4. Cuadro de atribución correspondiente a la banda 5725 – 5830 MHz .....	52
5.5. Esquema de la asignación de frecuencias para cada vano .....	53
6.1. Indisponibilidad del enlace entre Alzira y el repetidor .....	60
6.2. Indisponibilidad del enlace entre el repetidor y el HUB Principal .....	60
6.3. Indisponibilidad del enlace entre el HUB Principal y 1 HUB de Dos Aguas .....	61
6.4. Indisponibilidad del enlace entre el HUB Principal y el HUB de Millares .....	61
7.1. Características de los equipos empleados en el enlace entre Alzira y el repetidor .....	63
7.2. Características de los equipos empleados en el enlace entre el repetidor y el HUB Principal .....	63
7.3. Características de los equipos empleados en el enlace entre el HUB Principal y el HUB de Millares .....	64
7.4. Características de los equipos empleados en el enlace entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas .....	64
7.5. Antena PTP11820C .....	64
7.6. Antena PMP450i <i>Access Point</i> .....	65
7.7. Antena PMP450i <i>Suscriber module</i> .....	65



# Índice de Tablas

2.1. Diagrama temporal de tareas .....	16
4.1. <i>Throughput</i> requerido en el centro del municipio de Millares .....	31
4.2. <i>Throughput</i> requerido en las afueras del municipio de Millares .....	31
4.3. <i>Throughput</i> requerido en el municipio de Dos Aguas .....	31
4.4. <i>Throughput</i> requerido en la conexión entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas...	42
4.5. <i>Throughput</i> requerido en la conexión entre el HUB Principal y el HUB de Millares.....	43
4.6. <i>Throughput</i> requerido en el <i>access point</i> desplegado desde el HUB Principal .....	44
4.7. <i>Throughput</i> mínimo requerido y obtenido en cada vano .....	45
4.8. Características del diseño de la estructura de la red de acceso .....	46
4.9. Características del diseño de la estructura de la red troncal .....	46
6.1. Características de la red troncal .....	56
6.2. Características del primer <i>access point</i> desplegado en Millares .....	56
6.3. Características del segundo <i>access point</i> desplegado en Millares .....	57
6.4. Características del tercer <i>access point</i> desplegado en Millares .....	57
6.5. Características del <i>access point</i> desplegado en Millares desde el HUB Principal .....	57
6.6. Características del primer <i>access point</i> desplegado en Dos Aguas .....	58
6.7. Características del segundo <i>access point</i> desplegado en Dos Aguas .....	58
6.8. Características del tercer <i>access point</i> desplegado en Dos Aguas .....	58
7.1. Presupuesto de la red troncal .....	66
7.2. Presupuesto de la red de acceso .....	67
7.3. Cálculo de los ingresos anuales .....	68
7.4. Cálculo del <i>payback</i> de la inversión .....	68

# Acrónimos

**TIC:** Tecnologías de la Información y la Comunicación.

**INE:** Instituto Nacional de Estadística.

**PTP:** Punto a punto.

**PMP:** Punto a multipunto.

**ADSL:** *Asymmetric Digital Subscriber Line.*

**PON:** *Passive optical network.*

**TWDM-PON:** *Time Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network.*

**NLOS:** *Non Line Of Sight.*

**LOS:** *Line Of Sight.*

**SC-FDMA:** *Single Carrier Frequency Division Multiple Access.*

**FM:** *Frequency Modulation.*

**QPSK:** *Quadrature Phase Shift Keying.*

**QAM:** *Quadrature Amplitude Modulation.*

**FI:** Frecuencia Intermedia.

**AEMET:** Agencia Estatal de Meteorología.

**CNAF:** Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

**RR:** Reglamento de Radiocomunicaciones.

**TPC:** *Transmission Power Control.*

**FCC:** *Federal Communications Commission.*

**ATPC:** *Automatic Transmit Power Control.*

**XPIC:** *Cross-Polarization Interference Cancellation.*

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Estudio de la necesidad

Hoy en día, la separación entre entorno urbano y rural supone uno de los principales factores a tener en cuenta cuando hablamos de la conocida como “brecha digital”. Este término hace referencia a la separación entre aquellas personas que diariamente hacen uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), y aquellas que no, bien porque no saben o porque no tienen acceso. Esta situación se agrava cuando nos referimos a ciertos entornos rurales donde el número de habitantes es inferior a 2.500 y por tanto, la rentabilidad que obtendrían los operadores prestando servicio es mucho menor a la que se obtendría en zonas urbanas.

Bien es cierto, que esta brecha ha disminuido en los últimos años según la encuesta realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE)<sup>1</sup>, sin embargo, todavía es destacable la existencia de zonas oscuras sin cobertura o con una conexión de pésima calidad.

Una de las principales consecuencias de esta brecha digital que lleva a destacar la necesidad de implementar el acceso a Internet en estas áreas es la falta de comunicación social y la limitación de información en un mundo en el que la globalización y la tecnología cobran cada vez más importancia, por lo que un primer paso para tratar de reducir esta diferenciación será dotar de un acceso a Internet fácil y rápido a dichas áreas, tema en el que nos centraremos en el proyecto.

Otro de los problemas que se tratará de resolver con el presente trabajo es la constante disminución del número de habitantes que caracteriza desde 1930 las zonas rurales en España. La imposibilidad de encontrar trabajo, o de poder cursar estudios en estas zonas, obliga a emigrar a núcleos urbanos, por lo que con este trabajo se pretende mejorar e incrementar el uso de Internet en estas zonas permitiendo así evolucionar tecnológicamente y frenar esta emigración forzada.

---

<sup>1</sup> Encuesta sobre Equipamiento y uso de tecnologías de información y comunicación en los hogares. Instituto Nacional de Estadística.

## 1.2 Objetivos

El principal objetivo del presente TFG es el diseño de una red de banda ancha que permita el acceso a Internet en los municipios de Millares y Dos Aguas. Estos municipios se han escogido debido a su cercanía y a las dificultades que encuentran sus habitantes en el acceso a Internet, ya que ambos están situados sobre la cuenca del río Júcar y se caracterizan por una orografía montañosa que dificulta el acceso al servicio de banda ancha, siendo insuficiente e inestable la cobertura proporcionada por cada uno de los operadores que actualmente prestan servicio en la zona.

Además, su elección se ha debido a que ambos reflejan una imagen clara del despoblamiento en las zonas rurales y sufren las consecuencias de la brecha digital. Con el cumplimiento del objetivo principal se pretende reducir dicho despoblamiento, ya que el despliegue de una red de acceso a Internet de calidad resulta necesaria para el desarrollo de un núcleo rural, permitiendo mejorar la educación, la administración, el ocio y la sanidad del municipio entre otros.

Para la consecución del objetivo del TFG, se debe comenzar comparando las diferentes tecnologías empleadas en el acceso a Internet, analizando sus ventajas y desventajas, y valorando las soluciones proporcionadas por Cambium Networks. A continuación, se realizará una planificación previa en la que se estudiará tanto la orografía como el número de potenciales clientes, y haciendo uso de la herramienta LinkPlanner se propondrá un diseño real de un radioenlace digital de servicio fijo que permita la conexión a Internet en ambos municipios, tratando de dar cobertura al máximo número de usuarios posibles, y estudiando las interferencias tanto intersistema como intrasistema que pudiesen degradar la calidad de la señal. Seguidamente, se seleccionarán las bandas de frecuencias a emplear tanto en la red troncal como en la red de acceso y se analizarán los resultados obtenidos. A continuación, se comprobará la cobertura radioeléctrica proporcionada a cada uno de los hogares tomados como muestra, y se realizarán pruebas con diferentes modulaciones a fin de garantizar una disponibilidad de la conexión superior al 99,8% en cualquier caso. Por último, se analizará la configuración de los equipos empleados y se adjuntará el presupuesto necesario para el despliegue de la red, calculando finalmente el *payback*<sup>2</sup> de la inversión que garantice la viabilidad del proyecto.

---

<sup>2</sup> El *payback* o “plazo de recuperación” de la inversión es un criterio de evaluación de inversiones que permite determinar el tiempo que se tardará en recuperar la inversión mediante los flujos de caja.

### 1.3 Organización de la memoria

La memoria se encuentra estructurada en 7 capítulos, con el objetivo de lograr una mayor comprensión y facilitar la lectura, cada capítulo se encuentra a su vez dividido en secciones y subsecciones.

- *Capítulo 2:* En este capítulo se indica la metodología seguida para el desarrollo del proyecto y las herramientas empleadas para la realización del trabajo, además se incluye un diagrama temporal que permite entender tanto las actividades desarrolladas como el tiempo dedicado a cada una de ellas.
- *Capítulo 3:* En este capítulo se comparan las tecnologías empleadas actualmente en el acceso a Internet, analizando sus ventajas y desventajas.
- *Capítulo 4:* Durante este capítulo, se realiza el diseño de la estructura de la red. Para ello, se comienza realizando una planificación del proyecto mediante una previsión del número de potenciales clientes y un estudio de la localización de Millares y Dos Aguas, de manera que se asegure la viabilidad del enlace permitiendo posteriormente realizar el despliegue de la red. A continuación, se analizan las características de los enlaces requeridos y las posibles interferencias intersistema y se realiza el despliegue de la red en LinkPlanner. Por último, se lleva a cabo el dimensionamiento de la red para comprobar que se cumplen los requisitos de calidad.
- *Capítulo 5:* El objetivo de este capítulo es el estudio de las bandas de frecuencias utilizadas y la asignación de las frecuencias asociadas a cada vano y de las polarizaciones empleadas con el objetivo de reducir las interferencias intrasistema.
- *Capítulo 6:* En este capítulo se analizan los resultados obtenidos mediante LinkPlanner. Para ello, se comienza realizando un estudio de la cobertura radioeléctrica en cada uno de los hogares escogidos como muestra, y finalmente se analiza la disponibilidad de cada enlace, de manera que se compruebe que se trata de una conexión estable y que el tiempo de interrupción del sistema es mínimo.
- *Capítulo 7:* En este capítulo se enumeran los equipos requeridos, analizando sus características y justificando su configuración, además se establece un presupuesto real y se calcula el *payback* de la inversión.
- *Capítulo 8:* Por último, en este capítulo, se extraen las conclusiones obtenidas a lo largo del trabajo y se realiza una propuesta futura de trabajo sobre dicho proyecto.

# Capítulo 2

## Metodología

### 2.1 Gestión del proyecto

La realización y evolución de este trabajo se podría dividir en diferentes etapas. En primer lugar, y para poder entender la utilidad de un radioenlace, resulta necesario comenzar el trabajo realizando un estudio de la necesidad existente, así como de los objetivos a cumplir. A continuación, y con el fin de encontrar la solución óptima al problema detectado, se realiza un análisis comparativo entre las diferentes tecnologías que encontramos hoy en día cuando nos referimos al acceso a Internet.

La segunda etapa del proyecto, abarca el diseño de la estructura de la red mediante la herramienta de LinkPlanner y los equipos de Cambium Networks. Para ello, y con el fin de cumplir el objetivo principal del trabajo, se realiza en primer lugar una planificación previa en la que se estudia tanto el terreno y la localización de ambos municipios como el número de hogares a los que se busca dar servicio, y se establece una tarifa en función de las velocidades requeridas. Además, se estudian las posibles interferencias intersistema que pudiesen afectar a cada enlace, como son las procedentes del radar meteorológico de Cullera.

Siguiendo con el diseño de la estructura de la red, se realiza el despliegue del radioenlace. Para ello se establecen 4 enlaces punto a punto (PTP) en la red troncal y 3 enlaces punto a multipunto (PMP) en la red de acceso, permitiendo así la transmisión de la señal desde Alzira a cada uno de los municipios y posteriormente, a cada uno de los hogares.

A continuación, en dicha etapa, se lleva a cabo un análisis de las características de cada enlace, para lo que resulta necesario realizar el dimensionamiento de la red, así como estudiar la banda de frecuencias asignada a cada uno de los vanos y fijar su polarización.

Seguidamente, y a fin de comprobar los resultados obtenidos, se analiza la cobertura radioeléctrica y la disponibilidad que proporcionaría cada uno de los enlaces.

En la última etapa del proyecto, se describe el equipamiento requerido y se establece un presupuesto real obteniendo el *payback* de la inversión, y para finalizar el proyecto, se extraen las conclusiones obtenidas y se plantean las líneas de trabajo futuras.

## 2.2 Distribución de tareas

De acuerdo con el índice establecido y las etapas anteriormente mencionadas, el trabajo se ha dividido en las siguientes tareas:

1. **Planteamiento del TFG y tutor:** Durante esta reunión se decidió junto con el tutor del TFG, Lorenzo Rubio, el tema a tratar.
2. **Decisión del problema a solucionar:** En esta tarea se detectó la necesidad existente y se propuso una solución.
3. **Lectura del manual de LinkPlanner**
4. **Planteamiento de índice de la memoria:** Tras la reunión con el tutor se decidieron los aspectos más importantes a tratar en el trabajo y se propuso una primera estructura para el índice de la memoria.
5. **Redacción del Capítulo 1. Introducción:** En esta tarea se trataron aspectos como el estudio de la necesidad, los objetivos a cumplir y la organización de la memoria.
6. **Redacción del Capítulo 2. Metodología:** En esta tarea se planteó una primera metodología a seguir con el fin de organizar el trabajo.
7. **Búsqueda de información sobre servicios de banda ancha:** En esta tarea se buscó información y se valoraron las distintas opciones de acceso a Internet
8. **Redacción del Capítulo 3. Tecnologías de acceso a Internet:** Durante esta tarea se redactó una introducción a la banda ancha y los servicios de acceso a Internet previamente estudiados, además de una introducción a los radioenlaces digitales de servicio fijo, solución que se había decidido implementar en el presente TFG.
9. **Planteamiento del diseño de la red:** Esta tarea agregó tanto la planificación como el despliegue y el dimensionamiento de la red y se compone por las siguientes subtareas:
  - 9.1. **Estudio orográfico en Millares y Dos Aguas :** La primera subtarea a resolver consistió en el estudio del terreno de ambos municipios para poder prever las posibles complicaciones en el enlace debidas a la orografía.
  - 9.2. **Pruebas para la implementación de la red PTP:** En esta subtarea se realizaron diversas pruebas en LinkPlanner para la implementación de la red troncal buscando el punto óptimo para la ubicación de cada equipo que permitiera la visión directa en el enlace.
  - 9.3. **Planificación del número de usuarios y velocidades requeridas:** En esta subtarea se realizó una estimación de número de usuarios que requerirían el servicio y se planteó la tarifa a proporcionar y su precio según las velocidades estimadas.
  - 9.4. **Pruebas para la implementación de la red PMP:** En esta subtarea se realizaron diversas pruebas en LinkPlanner para la implementación de la red de acceso en cada municipio, buscando en cada caso el punto óptimo para ubicar el HUB que permitiese la conexión a todos los hogares.
  - 9.5. **Decisión de las bandas de frecuencias a emplear:** Se decidieron las frecuencias a emplear tanto en la red de acceso como en la red troncal.
  - 9.6. **Control de las interferencias externas:** En esta subtarea se comprobó que las interferencias procedentes de sistemas externos como sería el radar meteorológico de Cullera no afectarían.

**9.7. Despliegue de la red PTP y PMP en LinkPlanner.**

**9.8. Cálculo del *throughput* requerido:** En esta subtarea se realizaron los cálculos sobre el *throughput* requerido en cada *access point* para su posterior agregación.

**9.9. Dimensionamiento de la red:** Una vez calculado el *throughput* requerido, en esta subtarea se realizó el dimensionamiento de la red y se comprobó mediante LinkPlanner que se cumplía el requisito.

**10. Redacción del Capítulo 4. Diseño de la estructura de la red.**

**11. Planteamiento de la banda de frecuencias a emplear para el control de interferencias internas:** En esta tarea se decidió la frecuencia a emplear en cada uno de los vanos de entre la banda previamente escogida consultando el CNAF, así como las polarizaciones para evitar interferencias procedentes del propio sistema.

**12. Redacción del Capítulo 5. Asignación de frecuencias:** Justificación de las bandas de frecuencias empleadas en la red troncal y en la red de acceso y elaboración de una figura resumen de la frecuencia y polarización empleada en cada vano.

**13. Selección de los equipos de Cambium Networks:** En esta tarea, y en función de la banda de frecuencias a emplear, se escogieron los equipos de Cambium Networks.

**14. Implementación de las características de los equipos:** Una vez escogidos los equipos en esta tarea se configuraron de manera que se cumpliesen los requisitos de la red.

**15. Comprobación de los resultados obtenidos:** Una vez implementada la red y configurados los equipos en esta tarea se resumieron los resultados obtenidos en LinkPlanner tanto sobre la cobertura radioeléctrica en cada hogar como sobre la disponibilidad de la conexión.

**15.1. Estudio de cobertura radioeléctrica:** En esta subtarea se comprobó la cobertura radioeléctrica para cada uno de los hogares tomados como muestra.

**15.2. Análisis de la disponibilidad de la red:** En esta subtarea se comprobó que el tiempo de fallo del radioenlace fuese el mínimo, cumpliendo los requisitos previamente establecidos.

**16. Redacción del Capítulo 6. Resultados.**

**17. Descripción de las características de los equipos:** En esta tarea se justificó y detalló la configuración escogida para cada uno de los equipos.

**18. Elaboración del presupuesto final:** En esta tarea se elaboró un presupuesto indicando detalladamente el coste de cada uno de los equipos requeridos y su cantidad, realizando posteriormente una estimación del *payback* de la inversión.

**19. Redacción del Capítulo 7. Equipamiento y presupuesto**

**20. Finalización del Capítulo 1. Introducción y Capítulo 2. Metodología:** En esta tarea y tras haber avanzado con el proyecto, se revisaron los primeros capítulos a fin de comprobar que se habían cumplido los objetivos propuestos y cumplimentar la metodología y tareas realizadas.

**21. Redacción del Capítulo 8. Conclusiones y líneas de trabajo futuras:** En esta tarea y una vez elaborado el TFG, se extrajeron las conclusiones obtenidas a lo largo del trabajo y se realizó una propuesta de trabajo futura con el objetivo de ampliar y mejorar el proyecto.

**22. Implementación de los anexos y bibliografía.**

**23. Cuidado de la presentación y revisión del trabajo.**

**24. Elaboración del Power Point:** En esta tarea se elaboró el Power Point para la presentación del trabajo ante el tribunal.



## 2.3 Diagrama temporal de tareas



Tabla 2.1. Diagrama temporal de tareas.

# Capítulo 3

## Tecnologías de acceso a Internet

### 3.1 Introducción a la banda ancha

El concepto de banda ancha se puede asociar a aquella red que tiene una elevada capacidad de transportar información, de modo que se envían varios paquetes de información simultáneamente, tratando de incrementar así la velocidad.

Bien es cierto, que la consecución de la universalización del acceso a Internet de banda ancha en España se encuentra todavía lejos de cumplirse debido a la elevada cantidad de municipios que todavía no disponen de una conexión a Internet de calidad, o como en algunas zonas ocurre, de ningún tipo, por lo que con el presente trabajo se tratará de ayudar a su consecución.

Sin embargo, durante los últimos años, la demanda de servicios de banda ancha se ha visto incrementada, y con ello el número de soluciones posibles ante este problema, las cuales serán objeto de análisis durante este capítulo.

Estas posibles soluciones se encuentran principalmente clasificadas en sistemas cableados o sistemas inalámbricos, los cuales pueden combinarse entre sí dependiendo de la tecnología empleada. Para determinar el tipo de conexión a Internet de banda ancha óptimo en el municipio, debemos tener en cuenta que la tecnología a emplear dependerá en cada situación de la tipología del cliente, así como de su situación geográfica, por lo que no encontraremos un sistema de acceso ideal universal. Es por ello, que deberemos tener en cuenta las necesidades de la población en cuanto a velocidad y uso, así como la localización y orografía que caracterizan a cada municipio a la hora de escoger la tecnología a emplear.

A continuación, se valorarán estas tecnologías capaces de proporcionar los servicios de banda ancha en la actualidad y se analizarán las ventajas y desventajas de cada una de ellas a fin de buscar una solución adecuada y conseguir dar un servicio de Internet óptimo en los municipios de Millares y Dos Aguas.

## 3.2 Opciones de servicio

### 3.2.1 ADSL

En primer lugar, se analizará la opción de dar servicio de banda ancha mediante la línea de abonado digital asimétrica, conocida como ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*).

Se trata de una tecnología cableada que permite la transmisión analógica de datos digitales mediante la línea telefónica tradicional haciendo uso de un cable de pares simétrico de cobre. Se trabaja con tres canales de comunicación, un canal dedicado a las comunicaciones telefónicas convencionales, otro a la descarga de datos, y el tercero dedicado a la subida de datos. La existencia de diferentes canales permite que se comience a utilizar el servicio de voz a la vez que la transferencia de datos, ya que trabajan en bandas de frecuencias diferentes.

Como su nombre indica, se trata de una línea asimétrica, es decir, la capacidad difiere cuando nos referimos a descarga o subida de datos. En este caso, las velocidades de descarga máxima son de 30 Mbps, mucho mayores a las velocidades de subida, que son del orden de 5 Mbps.

Este tipo de conexión a Internet, ha supuesto durante años la opción preferente a la hora de escoger una conexión fija de banda ancha, sin embargo, ha perdido importancia en los últimos años y actualmente se encuentra muy cerca del límite de sus prestaciones.

- Ventajas:

- El ADSL trabajaba sobre la línea telefónica tradicional, como se ha indicado anteriormente, por lo que se trata de una infraestructura ya existente que le permite proporcionar una cobertura del 90% en el territorio para velocidades de hasta 2 Mbps, y del 72% para velocidades de hasta 10 Mbps. Por tanto, prácticamente cualquier usuario ubicado en una zona poblada tendrá acceso a Internet.
- Otra de las principales ventajas que ADSL ofrece es su precio, por lo que resulta una opción muy popular para aquellas personas que busquen ahorrar y hagan un uso básico y limitado de Internet.

- Inconvenientes:

- El principal inconveniente de esta tecnología es la velocidad que ofrece, pues esta oscila entre los 20-30 Mbps en bajada y actualmente existen opciones que alcanzan 1 Gbps.
- Otro de los inconvenientes destacables, es la dependencia de factores externos como es la calidad de los cables de cobre.
- Existirán ciertas líneas que no puedan prestar servicio dado que se encuentran a una distancia elevada de la central, pues ésta no debe ser superior a aproximadamente 5,5 km entre la central telefónica y el domicilio.

### 3.2.2 Fibra Óptica

Una de las opciones más destacadas hoy en día cuando nos referimos al acceso a Internet y que más se ha incrementado en los últimos años es la fibra óptica. Dicha solución, consiste en un hilo fino y transparente que permite transmitir impulsos luminosos a grandes velocidades y distancias. Ésta puede ser utilizada en diferentes aplicaciones como es la iluminación, los sensores o las comunicaciones, aspecto en el que nos centraremos al hablar de sus ventajas e inconvenientes. La fibra óptica es una solución muy valorada para ciertos clientes como son empresas e instituciones que requieren de un gran ancho de banda para su funcionamiento, por ejemplo, instituciones publicas, grandes empresas o universidades.

Actualmente, los operadores están implementado soluciones basadas en redes ópticas pasivas (PON, *Passive Optical Network*), que pueden combinarse con otras soluciones en cobre o en fibra. Dichas redes pasivas, son preferibles ante una red óptica activa si se busca una solución lo más económica posible, a cambio de unas prestaciones algo peores. Las redes PON son redes punto a multipunto formadas por elementos pasivos como enlaces de fibra óptica, divisores de potencia o multiplexores en longitud de onda. La evolución futura de la fibra óptica apuesta por una solución TWDM-PON (*Time Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network*) donde se gasten unas pocas longitudes de onda.

- Ventajas:

- La fibra óptica permite la transmisión de datos a una gran velocidad al funcionar mediante impulsos de luz, del orden de 300 Mbps, lo que supone una conexión más rápida a Internet.
- Proporciona mayor ancho de banda, lo que permite que la velocidad de conexión sea la misma independientemente de los equipos que se conecten.
- Las redes por fibra óptica evitan las interferencias electromagnéticas, permitiendo así que la velocidad que se reciba sea realmente la velocidad contratada y que no se provoquen cortes de la conexión, por lo que la calidad se ve mejorada.

- Inconvenientes:

- Se trata de un tipo de tecnología que requiere una instalación nueva, a diferencia del ADSL, que trabaja bajo una infraestructura existente, lo que provoca que no esté disponible en una parte del territorio, sobre todo cuando hablamos de zonas rurales o poco pobladas.
- Como consecuencia directa de la instalación necesaria mencionada anteriormente, el coste aumentará con respecto a otras soluciones, lo que constituirá una de las principales desventajas a la hora de plantearse el uso de esta tecnología como método de acceso a Internet.
- Se trata de un material muy frágil que difícilmente se podrá reparar si sufre una rotura.

### 3.2.3 Conexión por satélite

La conexión vía satélite constituye un método de acceso a Internet por medio de un satélite, el cual, cuenta con unos transpondedores cuya función es recibir, cambiar y transmitir las frecuencias del satélite, evitando así interferencias entre el haz ascendente y el haz descendente. Como se puede observar en la Figura 3.1, este sistema requiere la instalación en el exterior de la vivienda de una antena y principalmente es utilizado en aquellas zonas donde el cable no llega. Entre la antena parabólica instalada y el ordenador, habrá un *router* al que nos conectaremos mediante WiFi o cable, al igual que sucedería con ADSL o fibra.

Cabe destacar, que según el periódico El País, recientemente ha arrancado el plan llevado a cabo por la compañía SpaceX para la construcción de una constelación de unos 12.000 satélites capaz de ofrecer Internet de banda ancha y de baja latencia (25 milisegundos) en todo el mundo. Queda previsto para marzo del 2024 el despliegue de al menos el 50% de la constelación.

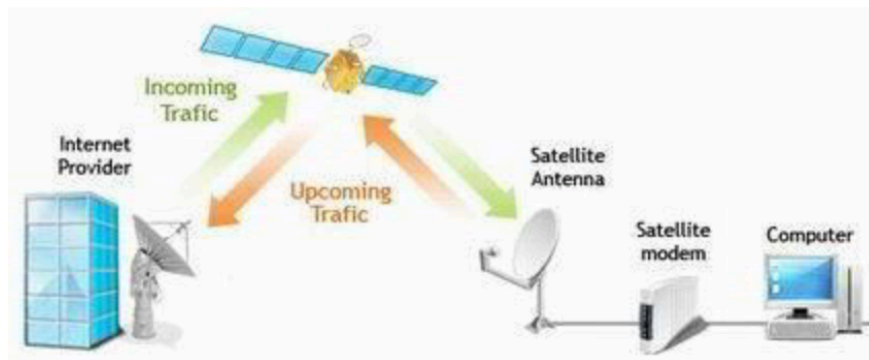


Figura 3.1: Esquema de conexión vía satélite.

- Ventajas:
  - Este sistema no requiere la existencia de una línea telefónica, lo que aumenta su accesibilidad en zonas de difícil acceso.
  - Se trata de un sistema que permite la conexión a Internet en prácticamente cualquier lugar, por lo que resulta especialmente atractivo en áreas rurales o montañosas.
- Inconvenientes:
  - Las velocidades ofrecidas, generalmente no superan los 20 Mbps, por lo que es un tanto limitado teniendo en cuenta las velocidades que hoy en día se pueden obtener haciendo uso de otro tipo de tecnologías.
  - El precio resulta más elevado en comparación con otras tecnologías que ofrecen velocidades similares, dado que además se requiere de una instalación previa.
  - En este tipo de conexión, la distancia entre el usuario y el satélite es elevada, pues se encuentra en órbita geoestacionaria, lo que provoca que la señal pueda sufrir retardos hasta 10 veces mayores de los que ADSL provocaría.

### 3.2.4 WiMAX

Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX) es una tecnología inalámbrica de acceso a Internet que permite la recepción de datos por microondas y su retransmisión por ondas de radio, alcanzando velocidades de hasta 70 Mbps. Se trata de una opción muy valorada en la actualidad, ya que permite el acceso a Internet en poblaciones y zonas donde el cable no llega. Cabe destacar, que no se trata de una tecnología sustituta de la tecnología WiFi, si no más bien complementaria, pues en un entorno rural podríamos utilizar WiMAX para dar cobertura de banda ancha y emplear posteriormente WiFi para distribuir la cobertura en cada hogar.

Esta tecnología se encuentra definida por el estándar IEEE 802.16MAN y puede proporcionar dos tipos de conexiones inalámbricas, sin necesidad de visión directa (NLOS, *Non Line Of Sight*) o con visión directa (LOS, *Line Of Sight*), en la que normalmente suelen utilizarse frecuencias más elevadas. Existen dos tipos de sistemas WiMAX, por una parte WiMAX fijo, basado en la versión del estándar IEEE 802.16d y por otra WiMAX móvil, basado en la versión del estándar IEEE 802.16e, en la que se añade portabilidad y capacidad para clientes móviles.

- Ventajas:

- Se trata de una tecnología similar a la de WiFi pero con mayor alcance, ya que en áreas densamente pobladas puede alcanzar los 30 km, y en áreas de baja densidad podríamos hablar de un alcance de hasta 70 km.
- WiMAX presenta un gran ancho de banda pudiendo llegar a admitir más de 60 conexiones.
- Dado que proporciona un acceso a Internet inalámbrico, no requiere la instalación ni uso de cableado, por lo que puede prestar servicio en áreas remotas.
- Se adapta a diferentes topologías de red: de distribución o malladas.
- No hay límite de descarga.

- Inconvenientes:

- La principal desventaja es la instalación que esta tecnología requiere, pues se necesita una pequeña antena exterior de unos 20 cm de diámetro.
- Esta tecnología únicamente podrá ser utilizada en las zonas donde exista un operador activo que proporcione cobertura. Actualmente la cobertura está entre un 80% y 90%.
- La conexión puede sufrir interferencias, aunque se trata de un tipo de tecnología tolerante a condiciones adversas.
- Únicamente puede soportar velocidades de hasta 120 km/h.
- WiMAX no soporta coexistencia con tecnologías previas como son 2G o 3G.

### 3.2.5 Tecnología 3G/4G/4G+

Cuando hablamos de tecnología 3G y 4G nos referimos a tecnologías de telefonía móviles de tercera y cuarta generación. En un primer momento, éstas fueron creadas con el objetivo de dar servicio de telefonía móvil sin cable, en embargo, también han abarcado el ámbito de la navegación por Internet a una alta velocidad.

A continuación, se realizará un análisis de la cobertura en los municipios de Millares y Dos Aguas, observando para ello los mapas de cobertura de cada uno de los principales operadores que ofrecen actualmente servicio en la zona, Movistar, Vodafone y Orange.

Por una parte, la tecnología 3G supuso un gran avance en las comunicaciones. Podemos comprobar, que se trata de una tecnología extendida por todo el territorio, sin embargo, su principal inconveniente es la limitada cobertura que proporciona, dado que en ciertas zonas no parece ser estable con algunos operadores y además proporciona velocidades que actualmente se pueden considerar limitadas. Esto es debido a que dependiendo de la localización la velocidad de transferencia puede disminuir drásticamente o incluso no existir la conexión.

En la Figura 3.2, se puede comprobar que Orange si proporciona conexión 3G de calidad en ambos municipios, seguidamente, en la Figura 3.3, se observa que la conexión 3G de Movistar no es estable y por último, en la Figura 3.4, se comprueba que la conexión 3G proporcionada por Vodafone si parece ser estable, sin embargo esta tecnología proporciona velocidades muy limitadas.

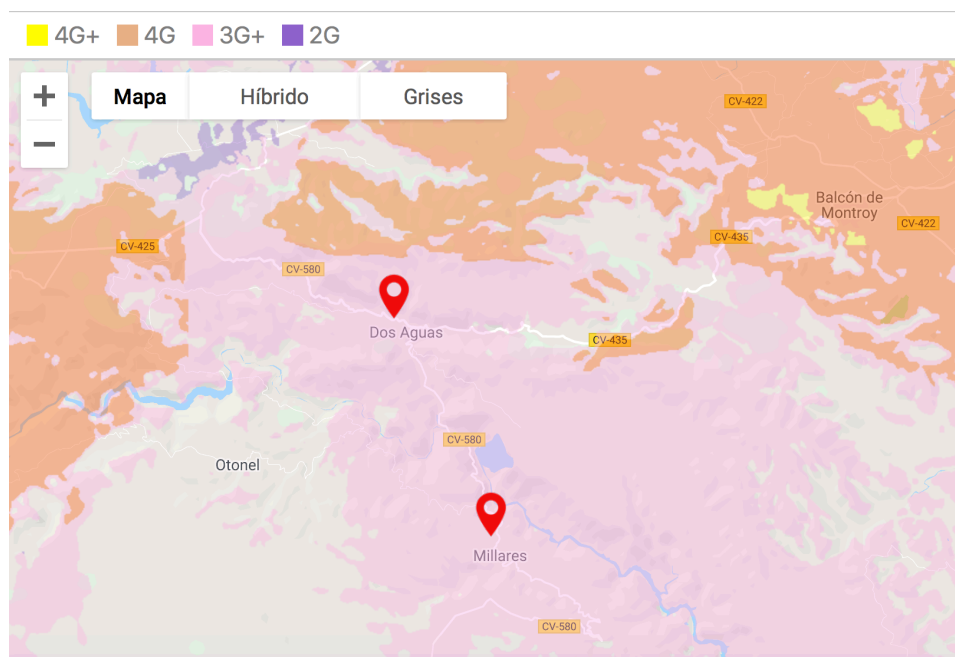


Figura 3.2: Mapa de cobertura Orange en la zona de Millares y Dos Aguas.

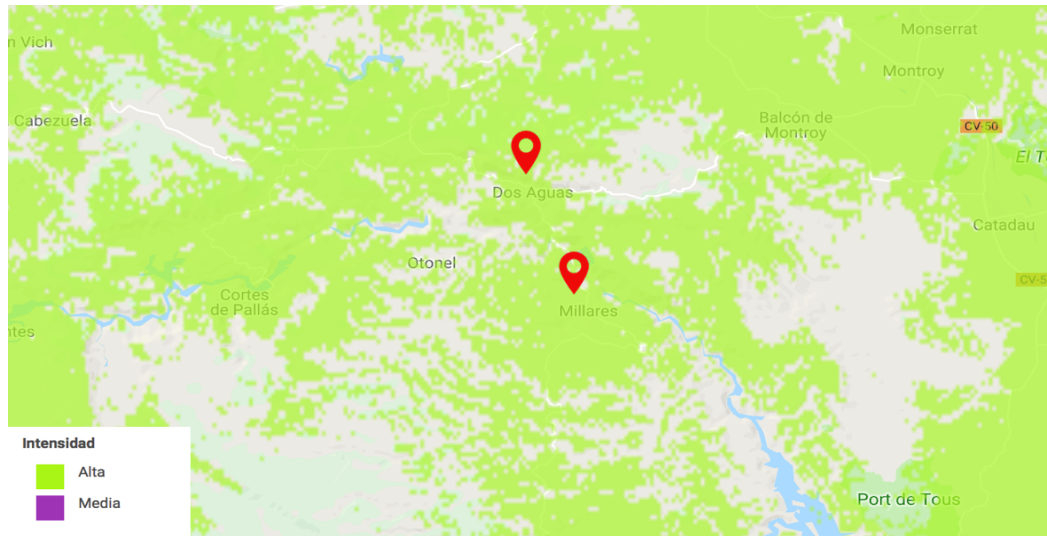


Figura 3.3: Mapa de cobertura Movistar 3G en la zona de Millares y Dos Aguas.

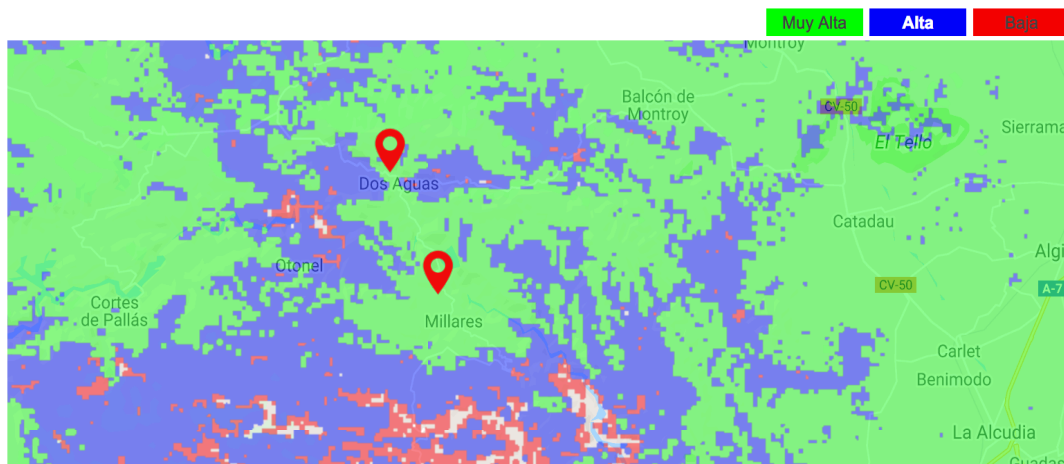


Figura 3.4: Mapa de cobertura Vodafone 3G en la zona de Millares y Dos Aguas.

Por su parte, los servicios de tecnología 4G o de cuarta generación, ofertan una velocidad mayor, siendo ésta de 150 Mbps en bajada y de 50 Mbps en subida, es decir, es entre cinco y diez veces más rápida que el 3G, lo que permite debido a su mayor velocidad, una mejora en los juegos en línea. Otra de las ventajas que supuso 4G es la baja saturación, por lo que más usuarios puedan estar conectados simultáneamente, a pesar de que hoy en día dicha saturación ha aumentado.

Se trata de una tecnología extendida por todo el territorio español y con gran estabilidad, sin embargo, en ciertas zonas su velocidad no es la esperada, o incluso no existe la conexión, tal y como podemos comprobar mediante los mapas de cobertura que ocurre en estos municipios y justifica la necesidad del despliegue de la red.

En los mapas de cobertura de Orange, Figura 3.2, de Movistar, Figura 3.5 y de Vodafone Figura 3.6, podemos comprobar que dichos operadores no prestan servicio de 4G en los municipios, únicamente parece existir algo de conexión en Dos Aguas por parte de Movistar.



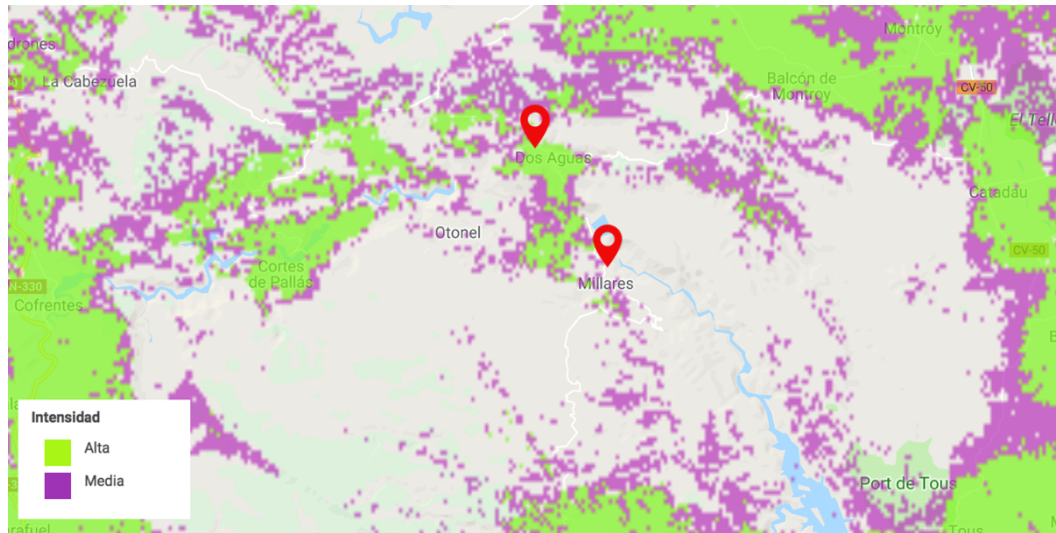


Figura 3.5: Mapa de cobertura Movistar 4G en la zona de Millares y Dos Aguas.

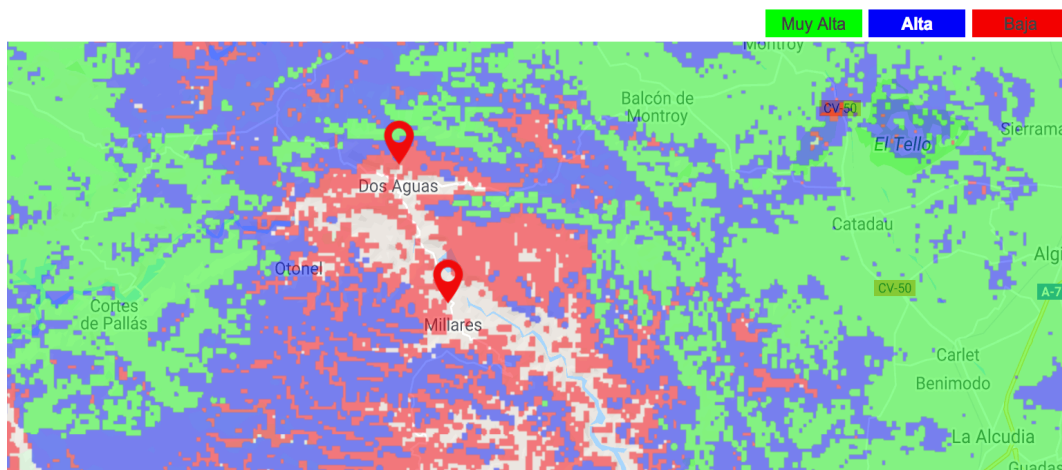


Figura 3.6: Mapa de cobertura Vodafone 4G en la zona de Millares y Dos Aguas.

Por último, la tecnología 4G+, constituye una tecnología reciente que permite velocidades todavía mayores, de hasta 300 Mbps, sin embargo, únicamente se encuentra disponible en grandes zonas urbanas donde la población y el uso que se hace de Internet es mayor, y por lo tanto, su instalación resulta rentable. La red 4G+ si es compatible con tecnologías previas como son 2G y 3G, además, permite mayores velocidades de usuarios móviles hasta 450 km/h y un ahorro de la batería en terminales móviles al usar SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) en el enlace *uplink*.

Mediante los mapas de cobertura de los diferentes operadores representados en las Figuras 3.2, 3.7 y 3.8 podemos comprobar la inexistencia de esta tecnología en dichos municipios, ya que a pesar de considerarse que el 4G+ ha sido la apuesta de los operadores móviles, no lo ha supuesto en dichas zonas rurales.



Figura 3.7: Mapa de cobertura Movistar 4G+ en la zona de Millares y Dos Aguas.

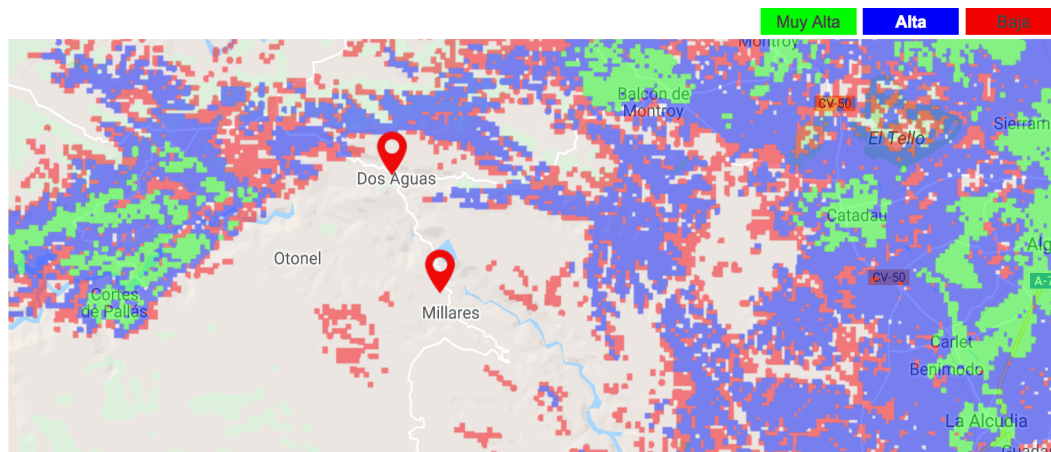


Figura 3.8: Mapa de cobertura Vodafone 4G+ en la zona de Millares y Dos Aguas.

Cabe destacar, que hoy en día en las zonas urbanas y densamente pobladas se consideran tecnologías de quinta generación o 5G, mientras que como hemos visto anteriormente, en dichos municipios apenas existe una conexión 3G óptima, por lo que resulta evidente la necesidad de aumentar la capacidad y mejorar las prestaciones acercándose a un sistema propio de la actualidad que permita el correcto desarrollo del núcleo rural.

### 3.3 Radioenlaces digitales de servicio fijo

Previamente a la realización del proyecto, cabe aclarar que un radioenlace es un sistema de radiocomunicaciones que permite la interconexión entre terminales mediante ondas electromagnéticas a través de un medio no guiado como es el aire.

Existen dos tipologías de radioenlace:

- Radioenlaces analógicos: se trata de un tipo de radioenlace que emplea modulaciones analógicas para la señal transmitida, normalmente modulación en frecuencia (FM, *Frequency Modulation*). Dichos sistemas están actualmente en desuso.
- Radioenlaces digitales: son un tipo de radioenlace donde las modulaciones utilizadas son las de cuadratura, como son las modulaciones en fase (QPSK, *Quadrature Phase Shift Keying*) o en amplitud (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*).

A su vez, los sistemas de transmisión inalámbrica se pueden clasificar en:

- Sistemas punto a punto: la información se transmite entre dos estaciones, una origen y una destino. En el presente trabajo se empleará dicho sistema para la implementación de la red troncal.
- Sistemas punto a multipunto: la información se transmite desde un nodo origen a múltiples receptores. Dicho sistema se empleará para la implementación de la red de acceso, permitiendo que la señal llegue a cada uno de los hogares de ambos municipios.

Por último, se encuentran diferencias según el servicio prestado:

- Servicio fijo: enlace creado entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre. Se emplean bandas ente 2 GHz y 50 GHz.
- Servicio móvil: en este tipo de enlace, alguno o ambos puntos de la conexión tienen características que permiten su movilidad.

Una vez aclarado el concepto de radioenlace y las distintas clasificaciones que se pueden hacer, cabe destacar que en el presente proyecto se desplegará un radioenlace digital de tipo fijo, que se implementará desde el municipio de Alzira hasta cada uno de los hogares de los municipios de Millares y Dos Aguas.

Se ha decidido desplegar un radioenlace ya que supone un sistema adecuado para zonas aisladas o de difícil acceso dado que permite superar las irregularidades del terreno, además su despliegue tanto inicial como posterior para hacer frente a un futuro crecimiento de la demanda es bastante rápido y su coste de mantenimiento es relativamente bajo. Sin embargo, también se encuentran una serie de limitaciones como serían la existencia de interferencias al hacer uso de un medio compartido, la posible indisponibilidad por desvanecimientos y lluvia y sobretodo, la necesidad *LOS* como se puede observar en la Figura 3.9 obtenida a partir del blog “Radioenlaces”, condición que de no darse obligaría a instalar estaciones repetidoras.

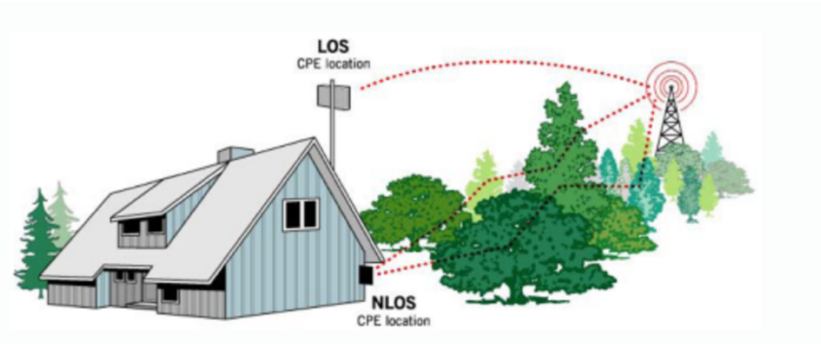


Figura 3.9: Línea de visión en un radioenlace.

Durante el despliegue del proyecto y haciendo uso de la herramienta LinkPlanner se comprobará la existencia de dicha visión directa, sin embargo, cumplir este requisito no es suficiente y se debe a su vez comprobar que no se invade la denominada zona de Fresnel. Dicha zona, representada en la Figura 3.10, comprende un elipsoide que rodea al rayo directo y debe comprobarse que no existen obstáculos que la invadan.

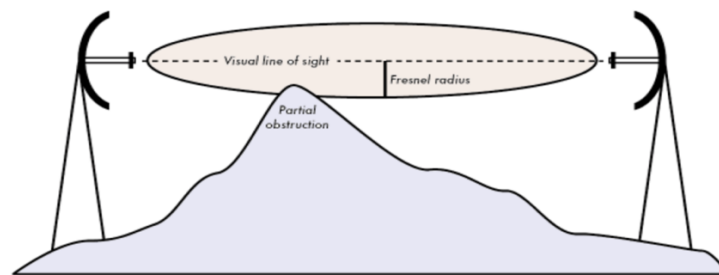


Figura 3.10: Primer elipsoide de Fresnel.

Un radioenlace se encuentra formado por estaciones terminales y estaciones repetidoras. Estos repetidores pueden ser activos, si amplifican la señal en Frecuencia Intermedia (FI) y la reenvían, o pasivos, si la señal se reenvía directamente. Mediante la implementación de dichos equipos y buscando la existencia de *LOS* el radioenlace quedará estructurado en diferentes vanos, los cuales interesa que sean de la mayor longitud posible buscando el abaratamiento de costes al hacer uso de un menor número de equipos, pero siempre garantizando la calidad y disponibilidad del servicio. En el presente trabajo, y tal y como posteriormente se verá, se han implementado dos vanos para permitir la visión directa desde Alzira hasta el HUB Principal y a partir de aquí otros dos vanos para hacer llegar la señal a cada uno de los municipios.

En los terminales de cada vano, se empleará una frecuencia para transmisión y otra para recepción, con un espaciado suficiente para evitar los acoples entre ellas, por lo que tal y como se verá a lo largo del trabajo, se hará uso de un plan a cuatro frecuencias en el que se alterne también la polarización entre vanos a fin de reducir las interferencias.

# Capítulo 4

## Diseño de la estructura de la red

### 4.1 Planificación del proyecto

#### 4.1.1 Localización

El principal objetivo del trabajo es facilitar el acceso a Internet en los municipios de Millares y Dos Aguas. Para comprobar si sería viable el despliegue de la red y si se podría ofrecer el servicio con las características que posteriormente se plantearán, resulta necesario comenzar la planificación del proyecto con un análisis sobre la localización y características demográficas de cada uno de los municipios.

Estos municipios, ubicados en Comunidad Valenciana, se encuentran delimitados por el paso del río Júcar y por una serie de cordilleras que dificultan tanto la cobertura como el acceso fácil y rápido a Internet en la zona, tal y como se ve en la Figura 4.1. Además, siguen la tendencia decreciente en cuanto a número de habitantes que caracteriza desde 1930 a las zonas rurales en España. Cabe destacar, que tanto en Millares como en Dos Aguas, el número de habitantes a mediados de 1900 sobrepasaba los 1.000 habitantes, sin embargo, hoy en día su población se ha reducido a unos 350 habitantes debido a la imposibilidad de poder encontrar trabajo o cursar estudios, aspecto que con el presente trabajo se trata de frenar.



Figura 4.1: Relieve de los municipios en los que se va a realizar el despliegue de la red.

Millares es un municipio de la Comunidad Valenciana, perteneciente a la provincia de Valencia. Se encuentra situado a 344 m de altitud y tiene una superficie de 105 km<sup>2</sup> de extensión. Este municipio cuenta con 346 habitantes según INE. Como se puede ver en la Figura 4.2, el municipio se encuentra delimitado por el paso del río Júcar, el cual sirve de límite con Dos Aguas. Se trata de un municipio situado a 43 km de Valencia, y a 31 km de Alzira, puntos clave que se valorarán a la hora de desplegar el primer enlace punto a punto.

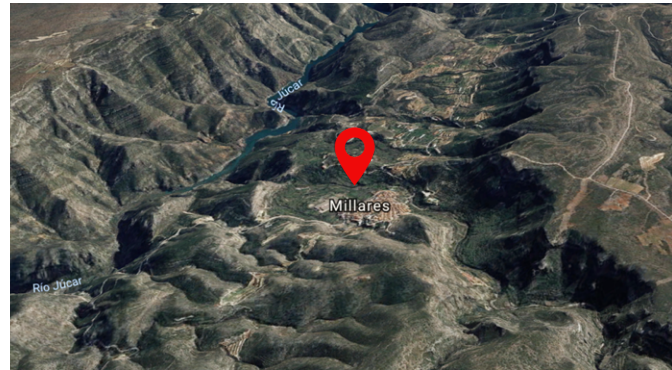


Figura 4.2: Relieve del municipio de Millares.

Dos Aguas es un municipio de la provincia de Valencia situado en la comarca de la Hoya en Buñol y delimitado por el paso del río Júcar, tal y como se observa en la Figura 4.3. Está situado a 400 m de altitud y su superficie es de 121,5 km<sup>2</sup>. Dos Aguas cuenta según los datos del INE con 355 habitantes y está situado a 41 km de Valencia y a 35 km de Alzira.



Figura 4.3: Relieve del municipio de Dos Aguas.

Una de las limitaciones a tener en cuenta a la hora de diseñar un radioenlace es la existencia de visión directa entre el emisor y el receptor. Para ello, una vez analizada la localización y orografía de cada municipio y haciendo uso de la herramienta Google Maps y de la representación del perfil orográfico que LinkPlanner proporciona, se analizarán los posibles puntos en los que se pueden ubicar los equipos. Para su elección se valorará la altura sobre el nivel del mar, la existencia de un camino cercano que permita el acceso y la existencia de electricidad en la zona, detectando a su vez si hay necesidad de hacer uso de repetidores para evitar ciertos obstáculos, dado que se trata de una zona orográficamente complicada.

### 4.1.2 Usuarios y tarifas

Tras haber detectado la necesidad existente en ambos municipios y analizado la orografía del terreno que los caracteriza para comprobar la viabilidad del radioenlace, se procederá a estudiar el número de habitantes de cada municipio y realizar una estima de los potenciales clientes y de la velocidad requerida por cada uno.

A la hora de diseñar una red WiFi, conviene centrarse en aquel porcentaje de población que se sitúa entre los 10 y 65 años, pues son las personas que cabría esperar hicieran un uso continuado de Internet. En estos municipios, al igual que en el resto de zonas rurales en España, la población se encuentra mayoritariamente envejecida, por lo que según los datos del INE, comprobamos que únicamente aproximadamente el 65% de la población en cada municipio se encuentra entre las edades especificadas. Siguiendo este criterio, la red se diseñaría para 225 habitantes en Millares y 230 en Dos Aguas.

Sin embargo, a la hora de diseñar un enlace fijo punto a multipunto, resultará más apropiado tener en cuenta el número de hogares que requieren el servicio en el municipio y no el número de habitantes. Dado que se trata de un área rural, se considerará que el número de habitantes por hogar es de una media de 2 y por tanto, se deberá dar servicio a 113 hogares en Millares y 115 en Dos Aguas. Cabe destacar, que en cualquier cálculo realizado a lo largo del trabajo se ha optado por redondear al alza con el objetivo de no obtener nunca un rendimiento del servicio menor al esperado.

Una vez calculado el número de potenciales clientes, se establecerán dos tipos diferentes de tarifas considerando el uso que se vaya a hacer de Internet y por tanto la velocidad requerida. En cada municipio se ha considerado que el 70% de los hogares requerirá una velocidad de 1 Mbps con un precio de 23€ mensuales, y para el 30% restante se ha supuesto que el uso de Internet será mayor y que se tendrá un mayor número de aparatos conectados, por lo que la velocidad requerida será de 5 Mbps y el precio será de 28€ mensuales. Tal y como se ha indicado anteriormente, el número de hogares que requerirán una velocidad mayor se ha redondeado hacia arriba en cualquier caso.

Cabe destacar que se tratará de una red simétrica, por lo que las velocidades de conexión serán las mismas en los enlaces de subida y de bajada, mejorando de esta manera los servicios de *cloud computing*.

En primer lugar, se analizará el municipio de Millares. En dicho municipio se pretende dar servicio tanto a sus propios habitantes como a aquellos que residen en los alrededores, ya que mediante Google Earth se ha comprobado que existe un determinado número de hogares y fabricas ubicados en la periferia. Por lo tanto, se ha realizado una estima en la que se ha determinado que el 15% de los habitantes residen en las afueras del municipio.

Como anteriormente se ha mencionado, en Millares se deberá dar servicio a 113 hogares, por lo que siguiendo con la estima realizada, 96 se ubicarán en el centro del municipio y 17 en las afueras. Aplicando la tarifa establecida para ambas ubicaciones tal y como se observa en las Tablas 4.1 y 4.2, se tiene que en el centro del municipio la tasa de transferencia efectiva requerida, es decir, el volumen de información que fluye en un sistema, conocido en inglés como *throughput*, será de 212 Mbps, ya que 67 hogares requerirán una velocidad de 1 Mbps y los restantes 29 hogares una velocidad de 5 Mbps. A su vez, de los 17 hogares ubicados a

los alrededores, 6 requerirán una velocidad de 5 Mbps y 11 una velocidad de 1 Mbps, por lo que el *throughput* requerido será de 41 Mbps.

VELOCIDAD	% HOGARES	VIVIENDAS	Total	<b>THROUGHPUT MÍNIMO</b>
<b>1 Mbps</b>	70	67	67	212 Mbps
<b>5 Mbps</b>	30	29	145	

Tabla 4.1: *Throughput* requerido en el centro del municipio de Millares.

VELOCIDAD	% HOGARES	VIVIENDAS	TOTAL	<b>THROUGHPUT MÍNIMO</b>
<b>1 Mbps</b>	70	11	11	41 Mbps
<b>5 Mbps</b>	30	6	30	

Tabla 4.2: *Throughput* requerido en las afueras del municipio de Millares.

En el caso del municipio de Dos Aguas, el número de hogares que se prevé requerirán el servicio es de 115, por lo que siguiendo con la tarifa establecida, el 70% de éstos, es decir, 80 hogares, requerirán una velocidad de 1 Mbps, mientras que 35 hogares requerirán una velocidad de 5 Mbps. Por lo tanto, tal y como se observa en la Tabla 4.3, el *throughput* requerido en dicho municipio será de 255 Mbps.

VELOCIDAD	% HOGARES	VIVIENDAS	TOTAL	<b>THROUGHPUT MÍNIMO</b>
<b>1 Mbps</b>	70	80	80	255 Mbps
<b>5 Mbps</b>	30	35	175	

Tabla 4.3: *Throughput* requerido en el municipio de Dos Aguas.

Posteriormente, y tras configurar las características de los equipos que se implementarán en cada vano, se comprobará mediante LinkPlanner que la red es capaz de proporcionar dicho *throughput* mínimo.



### 4.1.3 Interferencias

A la hora de desplegar un radioenlace, será un aspecto crucial a tener en cuenta el estudio de las posibles interferencias que se pudieran encontrar en la conexión, tanto en la red de acceso como en la red troncal.

Para el caso de la red de acceso, se ha decidido trabajar en la banda de frecuencias de 5,8 GHz, tal y como posteriormente se justificará. Se trata de una banda no licenciada, lo que supone que no se requiere planificación centralizada por parte de la Autoridad de Comunicaciones y por tanto, cualquiera puede hacer uso de esa parte del espectro, por lo que en ciertos momentos se podrían encontrar situaciones en las que los enlaces no funcionen con el rendimiento esperado debido a interferencias causadas por sistemas cercanos que hagan uso de la misma banda.

En este caso, y dada la localización de nuestro enlace, será de valorar las posibles interferencias causadas por el radar meteorológico que según los datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) comprobamos en la Figura 4.4 que se sitúa en Cullera, municipio perteneciente a la Comunidad Valenciana y próximo a Alzira. Sin embargo, se ha comprobado que este radar meteorológico trabaja a una frecuencia de 5,6 GHz, diferente a la utilizada en nuestro enlace, por lo que se puede asumir que no provocará interferencias. Además, se asume que las antenas que se utilizarán para el despliegue de la red, serán lo suficientemente directivas como para que el radar meteorológico no afecte al nivel de señal.

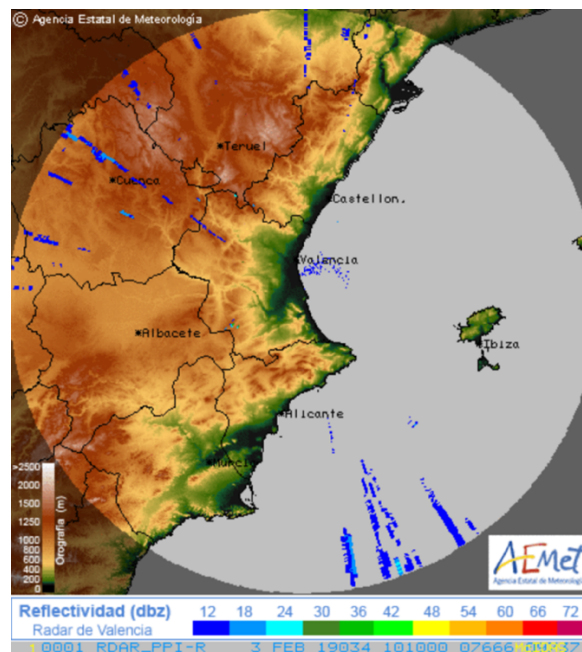


Figura 4.4: Radar meteorológico de Cullera.

En el caso de la red troncal, se ha decidido trabajar con la banda de frecuencias licenciada de 11 GHz, ya que a pesar de incurrir en un coste y necesitar obtener ciertos permisos, se podrá garantizar que no existirán interferencias de terceros en la red y que por lo tanto, la conexión será más robusta.

## 4.2 Despliegue de la red

Durante este trabajo y con el objetivo de simular un diseño de la red lo más próximo a la realidad posible que permita dotar de un servicio de conexión a Internet de calidad a los municipios de Millares y Dos Aguas, se hará uso de la herramienta LinkPlanner. Se trata de una herramienta software de planificación de enlaces de microondas mediante la cual se implementarán diferentes enlaces PTP y PMP que permitan la conexión a Internet y que se detallan a continuación.

Por una parte, un enlace PTP, es aquel que mediante un canal de comunicación inalámbrico permite conectar dos redes como si se tratase de una única, mientras que un enlace PMP, es una red en la que cada canal de datos puede dedicarse a la comunicación de diversos nodos, y en el que existe por tanto una única línea de comunicación compartida entre diferentes terminales.

Para el despliegue de la red troncal, se ha hecho uso de cuatro enlaces PTP que constituyen los cuatro vanos principales y que se indican a continuación:

- Alzira – Repetidor
- Repetidor – HUB Principal
- HUB Principal – HUB Millares
- HUB Principal – HUB Dos Aguas

Una vez establecidos estos enlaces, se desplegará la red de acceso, constituida por 3 enlaces PMP a partir de los HUB implementados en cada municipio y del HUB Principal, de manera que permitan la conexión en cada uno de los hogares. Dos de estos tres enlaces serán utilizados para dar servicio a la población de Millares, ya que de esta manera se permite el uso de antenas menos directivas y el nivel de calidad de señal en recepción mejorará, el tercer enlace PMP desplegado se utilizará para dar servicio a la población de Dos Aguas.

A continuación, en la Figura 4.5, se puede observar el despliegue de los distintos enlaces que componen la red, tal y como se ha indicado anteriormente.



Figura 4.5: Esquema del despliegue de la red troncal.

### 4.2.1 Despliegue de la red troncal

En primer lugar, y con el objetivo de hacer llegar el servicio de banda ancha a Millares y Dos Aguas, se establecerá un enlace PTP. Éste se caracteriza por contar con una arquitectura en la que cada canal de datos se utiliza para conectar únicamente a dos nodos.

El enlace, se desplegará desde el ayuntamiento de Alzira, como se puede observar en la Figura 4.6. Este punto ha sido escogido puesto que se encuentra ubicado en el centro de la ciudad, cuenta con una altura importante y podemos suponer que tiene establecida una conexión.



Figura 4.6: Ayuntamiento de Alzira. Punto de partida de la red.

Este enlace tendrá un alcance de 31 km hasta el HUB Principal, sin embargo, como se puede observar en la Figura 4.7, según los requisitos de Cambium Networks en función de la antena empleada y dada la distancia que separan ambos nodos y la ausencia de visión directa entre ambos puntos debido a la orografía del terreno, la distancia entre el equipo situado en Alzira y el HUB Principal no debería sobrepasar los 9,6 km (6 millas), por lo que se ha requerido la utilización de un repetidor a 19,2 km de Alzira y 10,8 km del HUB Principal. Una vez se ha situado el repetidor en función de los requisitos que posteriormente se verán, se ha comprobado que los dos vanos resultantes tenían visión directa, por lo que la distancia entre ambos equipos podía ser de hasta 250 km ahora (155 millas).

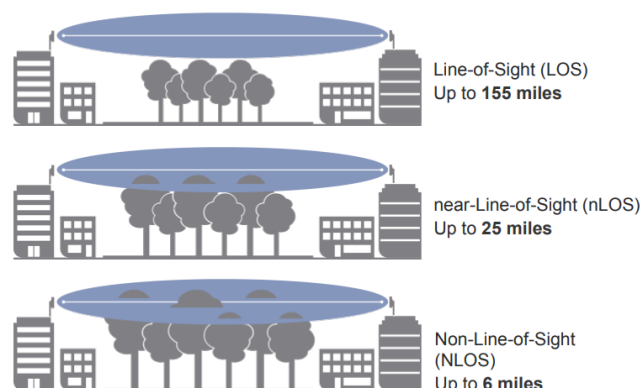


Figura 4.7: Requisitos máximos de distancia entre enlaces establecidos por Cambium Networks en función de la línea de visión.

Por lo tanto, dado que para una buena conexión era necesario el uso de un repetidor, tras la realización de diversas pruebas en LinkPlanner, se ha propuesto ubicar éste a 520 metros sobre el nivel del mar, permitiendo así la existencia de visión directa en ambos enlaces, lo que junto con su situación próxima a un camino y la existencia de hogares cercanos que indiquen que hay electricidad en la zona como se puede comprobar en la Figura 4.8, hace que sea un punto idóneo para su ubicación. En dicho enlace, las antenas se han ubicado sobre un mástil de 10 metros.



Figura 4.8: Punto de ubicación del repetidor empleado en el enlace entre Alzira y el HUB Principal.

Una vez determinada la ubicación del repetidor, el HUB Principal se ha ubicado a 565 metros de altura sobre el nivel del mar, en un punto clave que permite la visión directa tanto con el repetidor empleado en la conexión con Alzira como con los HUB de ambos municipios como veremos a continuación, evitando así el uso de repetidores. Para su ubicación, han sido factores clave a tener en cuenta tanto la existencia de un camino hasta el punto donde se ha situado como la de electricidad en la zona, tal y como se puede comprobar en la Figura 4.9. Las antenas igualmente se han ubicado sobre un mástil de 10 metros. Desde dicho punto, y dada su altura, se desplegará a su vez el enlace PMP a los hogares ubicados en las afueras del municipio de Millares.

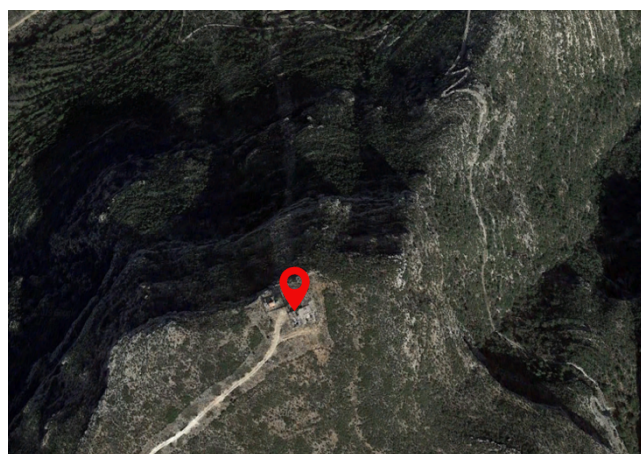


Figura 4.9: Punto de ubicación del HUB Principal.

A continuació, y tras haber determinado la ubicació de las antenas de ambos nodos, así como del repetidor intermedio, es posible comprobar que no se invade el primer elipsoide de Fresnel en ninguno de los dos vanos como se observa en las Figuras 4.10 y 4.11, requisito limitante a la hora del despliegue de un radioenlace, tal y como se ha visto previamente.

Cabe destacar, que en la conexión entre el repetidor y el HUB Principal, podemos apreciar una reflexión a los 3 km desde el repetidor, sin embargo, dada la rugosidad que caracteriza al terreno en dichas zonas y las frecuencias con las que se trabaja, ésta podría despreciarse.

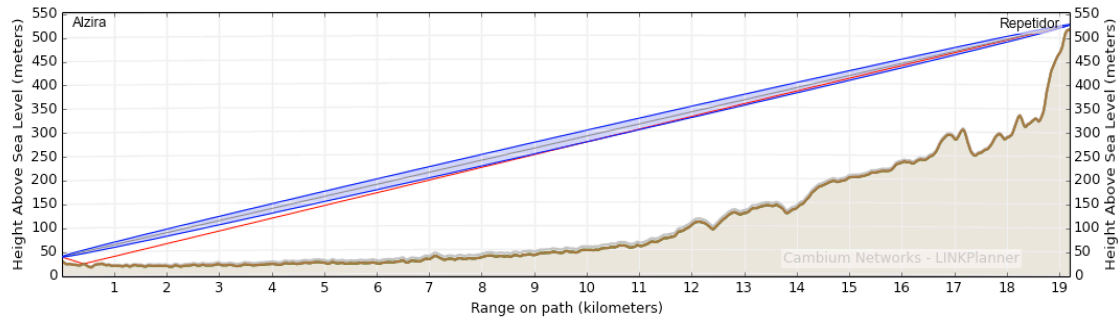


Figura 4.10: Línea de visión en la conexión entre Alzira y Repetidor.

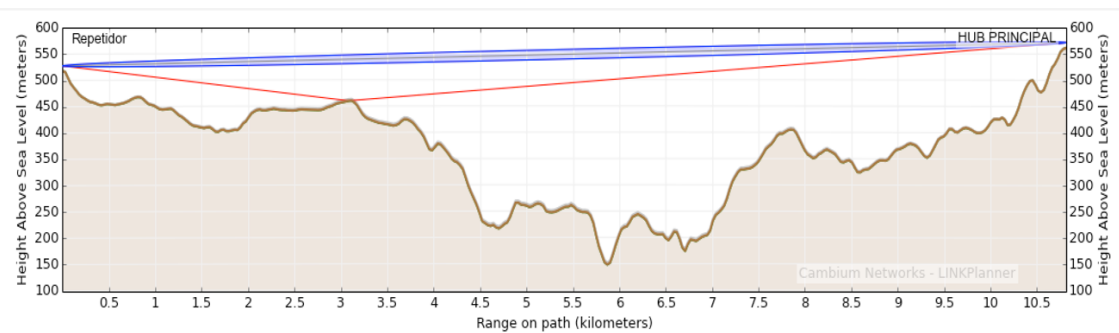


Figura 4.11: Línea de visión en la conexión entre Repetidor y HUB Principal.

Una vez realizado el despliegue de la red hasta el HUB Principal, se implementarán los enlaces PTP correspondientes hasta Millares y Dos Aguas como se verá a continuación, para posteriormente realizar el despliegue de la red de acceso en cada uno de los municipios.

## 4.2.2 Despliegue de la red en Millares

A continuaci3n, siguiendo con la estructura de la red, y buscando dar conectividad al municipio de Millares, se requerirá el despliegue de tres enlaces.

En primer lugar, se ha implementado un enlace PTP desde el HUB Principal hasta el HUB ubicado en Millares, seleccionado por su céntrica ubicaci3n en el municipio, lo que permitirá hacer uso de antenas menos directivas situadas sobre un mástil de 10 metros en el HUB Principal y de 8 metros en el HUB de Millares. Se trata de un enlace de 681 metros en el que existe visi3n directa y no se producen reflexiones ni se invade el primer elipsoide de Fresnel, tal y como se puede ver en la Figura 4.12.

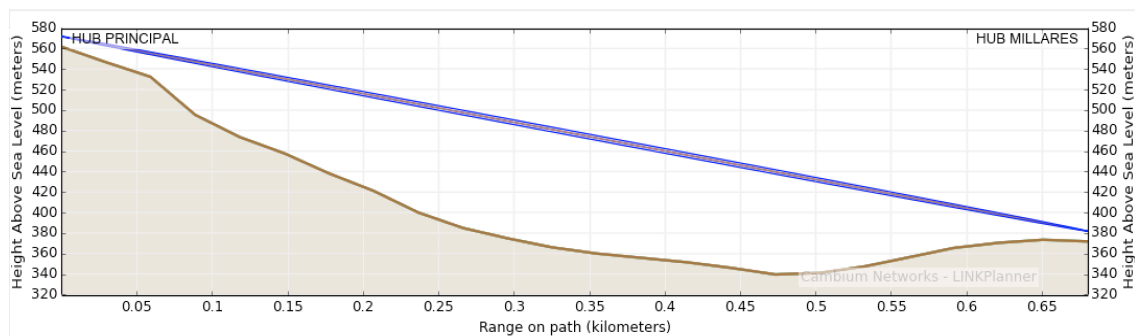


Figura 4.12: Línea de visi3n en la conexi3n entre el HUB Principal y el HUB de Millares.

Una vez conectados el HUB Principal y el HUB de Millares, será conveniente el despliegue de dos enlaces PMP con el objetivo de cubrir, no únicamente el municipio, si no también las viviendas y fabricas ubicadas en los alrededores. Para ello, será necesario comenzar seleccionando una muestra de los hogares que pretenden cubrirse, escogiendo los más críticos en cuanto a ubicaci3n y orografía que les rodea, así como también hogares más cercanos al centro del municipio, con el objetivo de comprobar que no existen interferencias en la conexi3n, que hay línea de visi3n directa, y que por lo tanto, se podrá proporcionar un nivel adecuado de señal en cada uno de los hogares.

Tras haber seleccionado la muestra de hogares a los que se pretende dar servicio, se desplegará la red de acceso, constituida por dos enlaces PMP.

Un primer enlace, se realizará desde el HUB Principal hasta cada uno de los hogares y fabricas ubicados en los alrededores del municipio. Este enlace requerirá únicamente de una antena configurada para tener un alcance de 1,5 km, con un ancho de haz de 90 y un acimut de 60, como se puede ver en la Figura 4.13. nicamente existirá un *access point* dado que la zona a cubrir cuenta con una densidad de poblaci3n muy baja y concentrada en un determinado sector. Haciendo uso de la herramienta LinkPlanner se puede comprobar que existe línea de visi3n directa en la conexi3n con cada uno de los hogares tomados como muestra, lo que permite suponer que en otros con mejores condiciones tampoco habrán interferencias.



Figura 4.13: Enlace PMP entre HUB Principal y Millares (afueras).

Por otra parte, se desplegará un segundo enlace PMP desde el HUB ubicado en el centro del municipio hasta cada uno de los hogares seleccionados para la muestra. Para la realización de este enlace, y debido a la baja carga y directividad que este requiere al tratarse de una zona poco poblada, ha sido posible implementarlo considerando tres *access point* que permiten cubrir todo el municipio como podemos ver en la Figura 4.14. La antena de los tres *access point* se ha ubicado a 8 metros de altura y éstos se han configurado para proporcionar un alcance de 300 metros, con un ancho de haz de  $120^\circ$  y seleccionando en cada una de ellas el acimut correspondiente para cubrir los  $360^\circ$ . Se trata de un enlace que permite dar conexión a todos los hogares ubicados en el municipio y en el que existe visión directa en todas las conexiones, tal y como se ha comprobado mediante LinkPlanner.

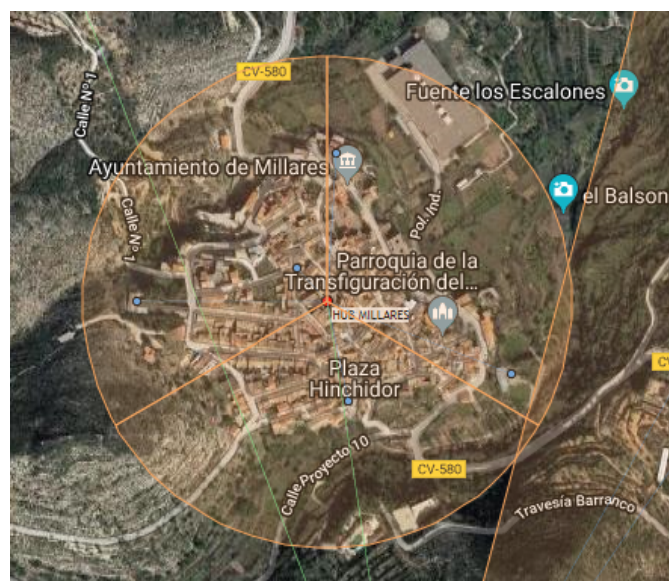


Figura 4.14: Enlace PMP desde el HUB de Millares hasta cada hogar.

### 4.2.3 Despliegue de la red en Dos Aguas

Por otra parte, para dar servicio al municipio de Dos Aguas, se requerirá del despliegue de dos enlaces. En primer lugar, un enlace PTP entre el HUB Principal y el HUB ubicado en Dos Aguas, como se puede observar en la Figura 4.15. Para la ubicación del HUB de Dos Aguas ha sido necesario tener en cuenta la orografía del terreno que caracteriza al municipio, pues al no ser plano y tras la realización de diversas pruebas en LinkPlanner ha resultado obligatorio para que existiera visión directa y poder dar servicio a todos los hogares la ubicación del HUB en ese punto en concreto. Además, esta ubicación se ha determinado de manera que la densidad de población que se pretende cubrir en cada uno de los *access point* fuera lo más similar posible y se mantuviera una distribución uniforme. La antena en el HUB de Dos Aguas se ha decidido ubicar sobre un mástil de 8 metros de altura.

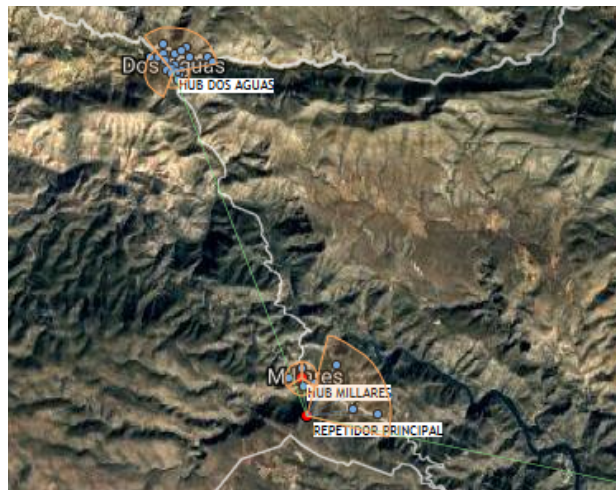


Figura 4.15: Enlace PTP desde el HUB Principal hasta el HUB de Dos Aguas.

El enlace establecido entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas es de 6,663 km y dado que no se invade el primer elipsoide de Fresnel, como podemos ver en la Figura 4.16, no será necesario la implementación de un repetidor. Cabe destacar, que se produce una reflexión en la mitad del enlace, a los 3 km, sin embargo, no será relevante dada la orografía montañosa que caracteriza al terreno en dicha zona y las frecuencias de trabajo empleadas.

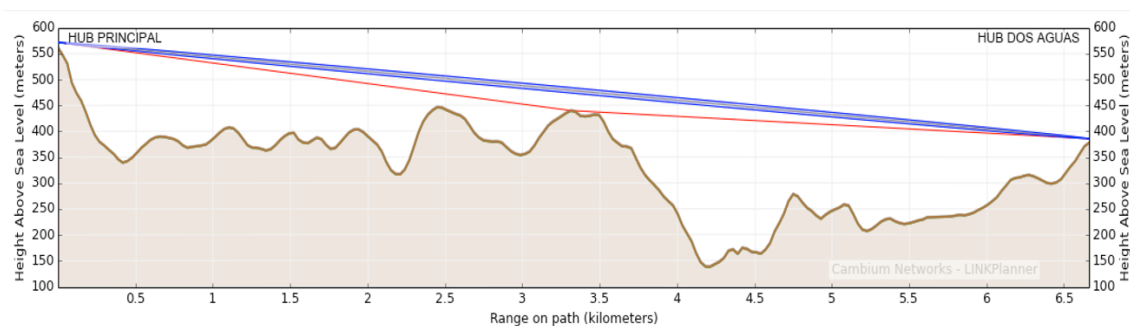


Figura 4.16: Línea de visión en la conexión entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas.



A continuación, se ha seleccionado una muestra de los hogares a los que se pretende dar servicio, escogiendo para ello aquellos hogares situados en los puntos más críticos debido a su baja altura sobre el nivel del mar o a su complicada orografía, y hogares más cercanos al HUB del municipio a fin de comprobar la calidad y disponibilidad en todas las posibles conexiones.

Una vez seleccionados los hogares que tomaremos como muestra, se ha implementado la red de acceso del municipio, desplegando para ello un enlace PMP entre el HUB del municipio y cada uno de los hogares. A fin de dar servicio a todos los potenciales clientes, se ha requerido la implementación de tres *access point*, tratando de que todos abarcasen un número de usuarios a cubrir lo más similar posible.

Así pues, en el primer *access point* se ha configurado la antena de manera que proporciona un alcance de 800 metros, tiene un ancho de haz de  $120^\circ$  y un acimut de  $20^\circ$ . En el segundo *access point* se ha configurado la antena proporcionando un alcance de 300 metros ya que únicamente se deben cubrir hogares cercanos, un ancho de haz de  $120^\circ$  y un acimut de  $140^\circ$ . Por último, en el tercer *access point*, se ha configurado la antena de manera que ésta tiene un alcance de 500 metros, un ancho de haz de  $120^\circ$  y un acimut de  $260^\circ$ . En la Figura 4.17 podemos comprobar que de esta manera de cubren los  $360^\circ$  alrededor de la antena y se distribuye la carga de manera uniforme.

Una vez realizadas las conexiones y haciendo uso de la herramienta LinkPlanner, se ha comprobado que existía línea de visión directa en la conexión a cada uno de los hogares seleccionados, pudiendo suponer así que también existirá una conexión óptima en el resto de hogares al contar con unas características más favorables en comparación con los escogidos.



Figura 4.17: Enlace PMP desde el HUB de Dos Aguas hasta cada hogar.

### 4.3 Dimensionamiento de la red

Una vez planificado el proyecto y realizado el despliegue de la red mediante la herramienta de LinkPlanner, se debe realizar el dimensionamiento de la red para asegurarnos que ésta tendrá capacidad suficiente para dar un servicio óptimo a todos los hogares que se había previsto iban a requerir de acceso a Internet. En cualquier caso, se debe comprobar que la red cumple el *throughput* mínimo requerido previamente calculado, verificando así que se cumplen las características de velocidad planteadas en la tarifa.

Para ello, se comenzará realizando el dimensionamiento de los enlaces punto a multipunto de la red de acceso en cada uno de los municipios, asegurándonos que se cumplen los requisitos de la red en cada uno de los *access point* desplegados, es decir, que la red es capaz de proporcionar al 30% de los hogares una velocidad de 5 Mbps y al restante 70% una velocidad de 1 Mbps. A partir de ahí, se comprobará que la red cumple también las especificaciones para los enlaces punto a punto de la red troncal establecidos hasta llegar al punto de partida del radioenlace, es decir, a Alzira.

Por una parte, en Dos Aguas, se había previsto iban a solicitar el servicio 115 hogares, de ellos, el 30%, es decir, 35 hogares, iban a requerir una velocidad de 5 Mbps, mientras que el restante 70%, 80 hogares, iban a requerir una velocidad de 1 Mbps, por lo que iba a ser necesario un *throughput* de 255 Mbps, como se ha visto en el apartado 4.1.2 Usuarios y tarifas.

En LinkPlanner se ha implementado una muestra de 20 hogares en dicho municipio, escogiendo aquellos más inaccesibles con el objetivo no solo de comprobar la existencia de LOS si no también de comprobar que el *throughput* mínimo requerido es alcanzado. Cabe destacar, que el HUB Principal no ha podido ser ubicado exactamente en el centro del municipio, dado que impedía la visión directa con algunos de los hogares debido a la inclinación del terreno, por lo que se ha ubicado en el punto más próximo al centro posible, para distribuir así la densidad de población de manera uniforme.

Desde dicho HUB, se han desplegado tres *access point* en los que se han ubicado 11, 5 y 4 de los 20 hogares tomados como muestra.

Para cada uno de estos *access point* se ha calculado el *throughput* requerido en función de la tarifa anteriormente mencionada, la cual establece velocidades de 1 y 5 Mbps. Posteriormente, mediante la herramienta LinkPlanner y en función de las modulaciones empleadas en cada equipo, se comprobará que dicho parámetro se cumple para cualquier caso.

En el primer *access point*, se han ubicado 11 de los 20 hogares tomados como muestra, y siguiendo la tarifa establecida, el *throughput* mínimo requerido será de 27 Mbps. Para ello, se ha determinado que el 36,4% de los hogares emplearán una modulación 64-QAM, el 18,2% QPSK MIMO-B y el 45,5% empleará QPSK MIMO-A, obteniendo un *throughput* de 28,72 Mbps en *downlink* y 29,06 Mbps en *uplink*, superando por tanto el mínimo requerido.

En el segundo *access point*, se han ubicado 5 de los hogares tomados como muestra, y según la tarifa establecida, se requerirá un *throughput* de 13 Mbps, por lo que basta con emplear en

el 100% de los hogares modulación QPSK MIMO-A, pues de esta manera se proporciona un *throughput* de 17,41 Mbps en *downlink* y 17,61 Mbps en *uplink* que cumple el requisito.

Por último, en el tercer *access point*, se han ubicado 4 de los 20 hogares de muestra, y según la tarifa establecida, se requerirá un *throughput* de 12 Mbps, por lo que igualmente ha bastado con emplear en el 100% de los hogares modulación QPSK MIMO-A, obteniendo así un *throughput* de 17,41 Mbps en *downlink* y 17,61 Mbps en *uplink*.

Una vez calculado el *throughput* mínimo requerido en *uplink* y *downlink* en cada uno de los *access point*, podemos comprobar cual será el requerimiento total del enlace desde el HUB Principal hasta el HUB de Dos Aguas. Para ello, tal y como se observa en la Tabla 4.4 se agregarán los *throughput* requeridos en cada sentido en cada *access point*, por lo que serán necesarios 64,28 Mbps en *uplink* y 63,54 Mbps en *downlink*.

<b>ACCESS POINT DOS AGUAS</b>	<b>Nº HOGARES</b>	<b>Hogares que requieren 1 Mbps</b>	<b>Hogares que requieren 5 Mbps</b>	<b>Throughput mínimo (Mbps)</b>	<b>Throughput uplink (Mbps)</b>	<b>Throughput downlink (Mbps)</b>
<b>1</b>	11	7	4	27	29,06	28,72
<b>2</b>	5	3	2	13	17,61	17,41
<b>3</b>	4	2	2	12	17,61	17,41
<b>Throughput (Mbps) enlace HUB Principal – HUB Dos Aguas</b>					64,28	63,54

Tabla 4.4: *Throughput* requerido en la conexión entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas.

Cabe destacar, que en el caso de implementar la red real con 115 hogares y planteando la misma tarifa, este parámetro sería de 255 Mbps en ambos sentidos, como anteriormente se ha calculado, por lo que a fin de realizar el dimensionamiento de la red lo más real posible en LinkPlanner se ha indicado como requisito dicho *throughput*.

Empleando la banda de 11 GHz y escogiendo la antena de Cambium Network PTP11820C estrecha, el *throughput* obtenido es de 280,58 Mbps, por lo que se superan los 255 Mbps requeridos en el enlace.

A continuación, se ha realizado el dimensionamiento para el municipio de Millares y el enlace PTP entre el HUB de dicho municipio y el HUB Principal. Tal y como se había visto en capítulos anteriores, el despliegue de la red en Millares se realizará en dos fases con el objetivo de dar cobertura no solo al centro del municipio, si no también a los hogares ubicados en los alrededores. En Millares, la demanda final era de 113 hogares, en los cuales se había supuesto un 15% , es decir 17 hogares, estarían ubicados en las afueras, mientras que los restantes 96 estarían ubicados en el centro del municipio y se les daría acceso desde el HUB central de Millares. Para ello, y al igual que en el caso anterior, se han implementado en

LinkPlanner 20 hogares de muestra. Por una parte, desde el HUB ubicado en el centro del municipio se han desplegado tres *access point*, en los cuales se han ubicado 7, 4 y 6 hogares de muestra, mientras que en el *access point* desplegado desde el HUB Principal se han ubicado 3 de estos 20 hogares, es decir, el 15%. La tarifa establecida, se ha supuesto sería la misma que en el caso anterior, por lo que de los hogares ubicados en el centro del municipio el 30%, es decir, 29, requerirían una velocidad de 5 Mbps, mientras que 67 requerirían 1 Mbps, siendo el *throughput* total de 212 Mbps. Además, posteriormente se agregará el *throughput* correspondiente a los hogares ubicados en las afueras, que siguiendo la misma tarifa, sería de 41 Mbps.

A continuación, se ha comprobado que para cada uno de los *access point* establecidos se cumple el requisito de *throughput* mínimo, asegurando así que todos los usuarios reciben la velocidad contratada.

En el primer *access point*, se han ubicado 7 hogares de los 20 tomados como muestra, por lo que se requerirá un *throughput* de 19 Mbps. Para ello, el 28,6% de los hogares emplearán modulación QPSK MIMO-B y el restante 71,4% modulación QPSK MIMO-A, de tal manera que se obtiene un *throughput* de 20,31 Mbps en *downlink* y de 20,55 Mbps en *uplink*.

En el segundo *access point*, se han ubicado 4 de los 20 hogares de muestra, por lo que se requerirá un *throughput* de 12 Mbps. Para ello, tal y como anteriormente se ha visto, basta con utilizar modulación QPSK MIMO-A en todos los hogares, obtenido así un *throughput* de 17,41 Mbps en *downlink* y 17,61 Mbps en *uplink*, cumpliendo el requisito mínimo.

En el tercer *access point*, se han ubicado 6 de los hogares de muestra, por lo que se requerirá un *throughput* de 14 Mbps, y al igual que en el caso anterior, se empleará modulación QPSK MIMO-A en los 6 hogares, ya que de esta manera se cumple el requisito mínimo.

Mediante LinkPlanner, es posible comprobar que estos *throughput* mínimos requeridos se superan en cada uno de los *access point* desplegado desde el HUB de Millares, y a partir de ahí, calcular el *throughput* que se requerirá en el enlace entre el HUB Principal y dicho HUB, tal y como se observa en la Tabla 4.5.

<b>ACCESS POINT MILLARES</b>	<b>Nº HOGARES</b>	<b>Hogares que requieren 1 Mbps</b>	<b>Hogares que requieren 5 Mbps</b>	<b>Throughput mínimo (Mbps)</b>	<b>Throughput uplink (Mbps)</b>	<b>Throughput downlink (Mbps)</b>
<b>1</b>	7	4	3	19	20,55	20,31
<b>2</b>	4	2	2	12	17,61	17,41
<b>3</b>	6	4	2	14	17,61	17,41
<b>Throughput (Mbps) enlace HUB Principal – HUB Millares</b>					55,77	55,53

Tabla 4.5: *Throughput* requerido en la conexión entre el HUB Principal y el HUB de Millares.

Por tanto, el *throughput* en el enlace entre el HUB de Millares y el HUB Principal será de 55,77 Mbps en *uplink* y 55,53 Mbps en *downlink*, sin embargo, cabe destacar, que en el caso de haber implementado la red real con los 96 hogares este parámetro sería de 212 Mbps, como

bien anteriormente se ha indicado. Por lo tanto, para el enlace entre el HUB de Millares y el HUB Principal, se establecerá en LinkPlanner como objetivo dicho *throughput*, ya que sería el que en el proyecto real se desearía.

Empleando la banda de 11 GHz y escogiendo la antena PTP11820C estrecha, el *throughput* obtenido ha sido de 228,50 Mbps en *uplink* y *downlink*, por lo que supera el mínimo requerido, que era de 212 Mbps, y por lo tanto el enlace funcionará correctamente y será capaz de proporcionar la velocidad requerida por los diferentes usuarios.

Por otra parte, para dar servicio a los hogares ubicados en las cercanías de Millares mediante el *access point* desplegado desde el HUB Principal directamente, el *throughput* será de 17,61 Mbps en *uplink* y 17,41 Mbps en *downlink*, como se observa en la Tabla 4.6. En el caso de haber implementado los 17 hogares de la red real, encontraríamos que este parámetro sería de 41 Mbps, como se ha calculado previamente.

<b>ACCESS POINT MILLARES (afueras)</b>	<b>Nº HOGARES</b>	<b>Hogares que requieren 1 Mbps</b>	<b>Hogares que requieren 5 Mbps</b>	<b>Throughput mínimo (Mbps)</b>	<b>Throughput uplink (Mbps)</b>	<b>Throughput downlink (Mbps)</b>
1	3	2	1	7	17,61	17,41

Tabla 4.6: *Throughput* requerido en el *access point* desplegado desde el HUB Principal.

Una vez realizado el dimensionamiento para cada uno de los municipios y comprobado mediante LinkPlanner que se cumple la velocidad mínima requerida real según la tarifa establecida para cada uno de los enlaces con el HUB Principal, se comprobará que los parámetros se cumplen también para los enlaces punto a punto desplegados desde dicho HUB hasta Alzira.

En primer lugar, para el enlace entre el HUB Principal y el repetidor, el *throughput* requerido será de 550,08 Mbps, ya que se deberá dar servicio a los dos municipios. Para su cálculo, basta con agregar los *throughput* de cada enlace, es decir, 280,58 Mbps en el caso de Dos Aguas, 228,50 Mbps en el caso de Millares y 41 Mbps en el caso de los hogares ubicados a las afueras de Millares. Empleando para ello la banda de 11 GHz y escogiendo la antena PTP11820C ancha, el *throughput* obtenido mediante LinkPlanner es de 595,96 Mbps, por lo que se superan los 550,08 Mbps.

Por último, en el enlace entre el repetidor y Alzira, el *throughput* requerido volvería a ser de 550,08 Mbps para dar servicio a los dos municipios. Empleando la misma banda de frecuencias y escogiendo la misma antena, se obtiene un *throughput* de 595,90 Mbps, por lo que se superan los 550 Mbps requeridos tanto en *uplink* como en *downlink*, y por tanto el enlace será capaz de proporcionar la velocidad requerida a cada usuario según la tarifa establecida.

A continuación, se detalla a modo simplificado en la Tabla 4.7 y en la Figura 4.18 el *throughput* mínimo requerido y el *throughput* obtenido mediante LinkPlanner para cada uno de los enlaces en función de los parámetros configurados en los equipos. De esta manera, se

comprueba que se cumplen los requisitos de la red y que además existe cierto sobredimensionamiento que permitirá hacer frente a posibles interferencias no previstas.

ENLACE	THROUGHPUT REQUERIDO (Mbps)	THROUGHPUT OBTENIDO (Mbps)
HUB Dos Aguas –HUB Principal	255	280,58
HUB Millares – HUB Principal	212	228,50
Millares (afueras) – HUB Principal	41	41
HUB Principal – Repetidor	550,08	595,90
Repetidor – Alzira	550,08	595,96

Tabla 4.7: *Throughput* mínimo requerido y obtenido en cada vano.

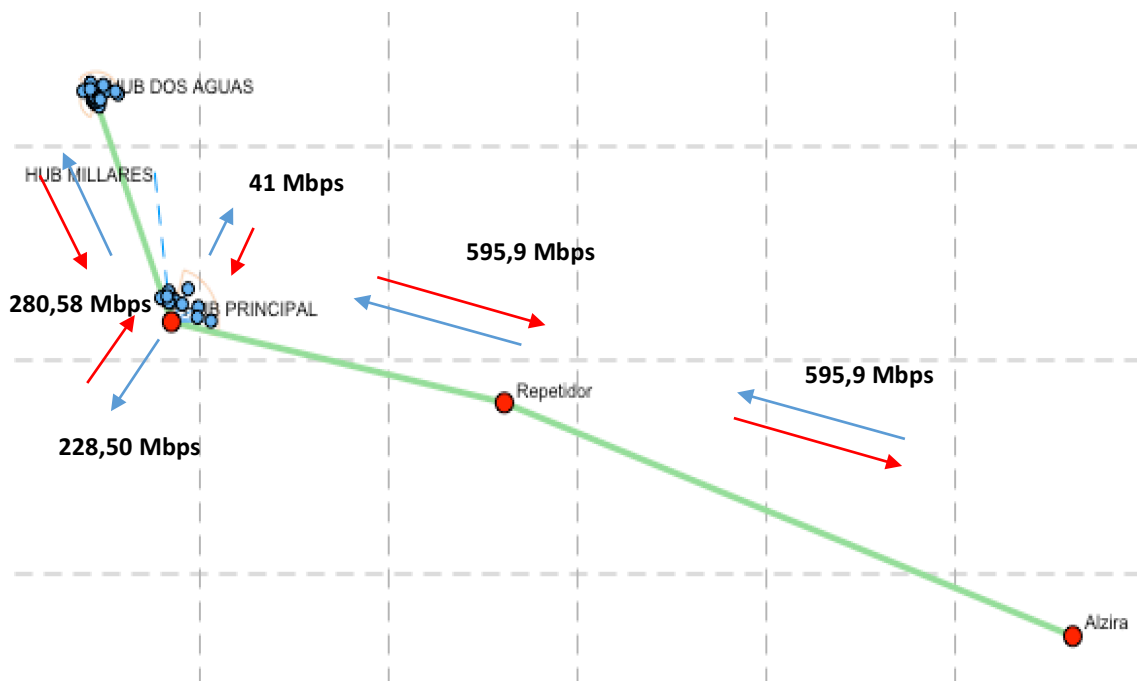


Figura 4.18: Esquema del *throughput* obtenido en cada vano.

Seguidamente, en las Tablas 4.8 y 4.9 se resumen las características de los *access point* desplegados en la red de acceso y de los vanos correspondientes al diseño de la estructura de la red troncal vistos a lo largo del capítulo.

<i>ACCESS POINT</i>	<i>PRODUCTO</i>	<i>AZIMUT</i>	<i>DISTANCIA (km)</i>	<i>USUARIOS</i>	<i>BANDA (GHz)</i>	<i>THROUGHPUT AGREGADO (Mbps)</i>
<b>HUB Millares: 1</b>	PMP450i	60°	0,3	5	5.8	40,86
<b>HUB Millares: 2</b>	PMP450i	180°	0,3	4	5.8	35,02
<b>HUB Millares: 3</b>	PMP450i	300°	0,3	6	5.8	35,02
<b>HUB Principal</b>	PMP450i	60°	1,5	3	5.8	35,02
<b>HUB Dos Aguas: 1</b>	PMP450i	20°	0,8	11	5.8	57,78
<b>HUB Dos Aguas: 2</b>	PMP450i	140°	0,3	5	5.8	35,02
<b>HUB Dos Aguas: 3</b>	PMP450i	260°	0,5	4	5.8	35,02

Tabla 4.8: Características del diseño de la estructura de la red de acceso.

<i>ENLACE</i>	<i>DISTANCIA (km)</i>	<i>PRODUCTO</i>	<i>BANDA (GHZ)</i>	<i>THROUGHPUT AGREGADO (Mbps)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	
					<i>Derecha</i>	<i>Izquierda</i>
<b>Alzira – Repetidor</b>	19,206	PTP11820C Wide	11	1191,821	10	10
<b>Repetidor – HUB Principal</b>	10,814	PTP11820C Wide	11	1191,919	10	10
<b>HUB Principal – HUB Millares</b>	0,681	PTP11820C Narrow	11	456,992	10	8
<b>HUB Principal – HUB Dos Aguas</b>	6,663	PTP11820C Narrow	11	561,157	10	8

Tabla 4.9: Características del diseño de la estructura de la red troncal.

# Capítulo 5

## Asignación de frecuencias

En este capítulo nos centraremos en la selección de la frecuencia de trabajo, un aspecto crucial a la hora de diseñar un radioenlace ya que permite determinar la calidad, alcance e interferencias que afectarán a éste.

A la hora de tomar esta decisión nos encontraríamos ante dos opciones, podríamos optar por hacer uso de una banda de frecuencias licenciada, la cual resultaría más costosa económicamente pero nos aseguraría casi en su totalidad que no existirán interferencias perjudiciales en el enlace procedentes de sistemas ajenos. Otra alternativa, sería optar por hacer uso de una banda de frecuencias no licenciada, es decir, de uso libre, lo que reduciría bastante el presupuesto del proyecto. Al hacer uso de este tipo de banda se podría suponer que no van a existir sistemas cercanos que hagan uso de la misma y causen interferencias, ya que el despliegue del radioenlace se va a realizar en una zona rural y en consecuencia, con baja demanda.

Durante el presente trabajo, y a fin de seleccionar la banda de frecuencias a utilizar, se ha hecho uso de la información disponible en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF). El CNAF es un instrumento legal dependiente del Ministerio de Economía de España que proporciona información sobre el ordenamiento del espectro en España y sobre el uso o reserva de cada una de las bandas de frecuencias. Consta además de notas de Utilización Nacional (UN) en las que podemos encontrar las características para cada banda de frecuencias. Dado que se trata de un documento que requiere constantes actualizaciones, es relevante destacar que la versión del CNAF utilizada durante el desarrollo de este proyecto es la correspondiente al 27 de Octubre de 2017.

Tras consultar esta información, y tal y como se justificará a continuación, se decidió hacer uso de la banda licenciada de 11 GHz para los enlaces fijos punto a punto de la red troncal y de la banda no licenciada de 5,8 GHz para los enlaces punto a multipunto de la red de acceso, con el principal objetivo de reducir los costes del proyecto, pero garantizando siempre la calidad del enlace. A continuación, se detallará la información obtenida a partir del CNAF para cada una de estas bandas y sus usos a fin de justificar su elección.



## 5.1 Red troncal

La banda de 11GHz se ha escogido para la implementación de los enlaces fijos punto a punto que constituyen la red troncal y se desplegarán desde Alzira hasta el HUB de Millares y el HUB de Dos Aguas.

La información dispuesta en el CNAF comprende en primer lugar las notas del artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) junto con las tablas de atribución de bandas de frecuencias indicada para cada una de las tres regiones en las que se ha dividido el mundo con objeto de esta atribución. Como podemos observar en la Figura 5.1 y en relación con el despliegue del proyecto, nos centraremos en la región 1, la cual abarca el territorio Europeo y está delimitada por las líneas A y B.

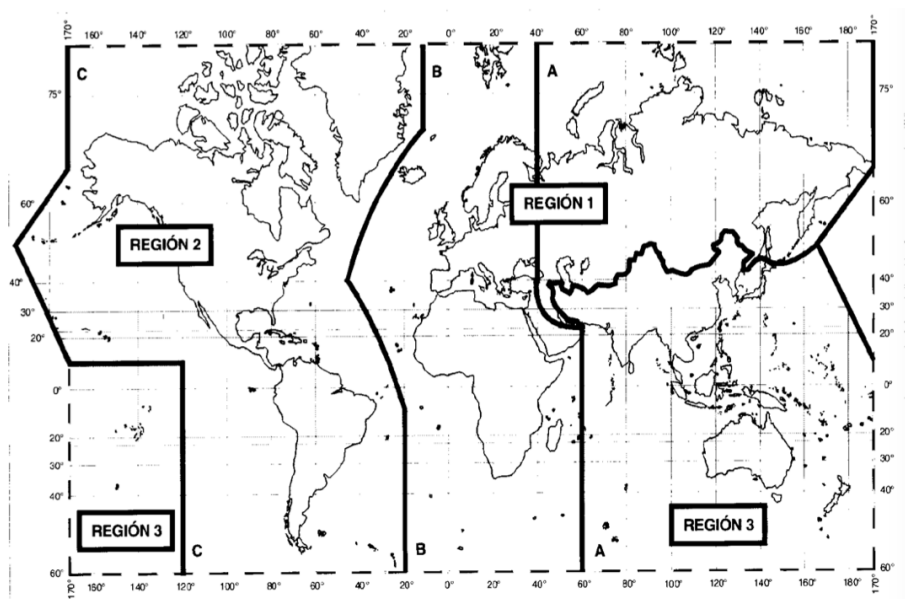


Figura 5.1: Regiones establecidas para la atribución de las bandas de frecuencias.

En la banda de 11GHz, y tal y como podemos ver en la Figura 5.2(a) y 5.2(b) en la columna de la izquierda y centrándonos en la región 1, los servicios que encontramos son: servicio fijo, servicio fijo por satélite tanto espacio-tierra como tierra-espacio y servicio móvil, salvo móvil aeronáutico. Por lo tanto, dado que los radioenlaces en los que se hará uso de dicha frecuencia son fijos, se podrá hacer uso de la misma. Dichos servicios se encuentran escritos en mayúsculas, lo que según la sección II – Categoría de los servicios y de las atribuciones, indica que se trata de servicios primarios, por lo que no podrán recibir interferencias de otros servicios calificados como secundarios.

Continuando con la información dispuesta en el cuadro de atribución, en la columna de la derecha podemos observar en primer lugar la atribución de la banda de frecuencias hasta el valor de 275 GHz así como los servicios proporcionados, que normalmente, coincide con lo visto en la columna de la izquierda, como ocurre para la banda seleccionada.

A continuación, podemos observar el tipo de uso del espectro para la banda en cuestión. Las modalidades de uso se han clasificado según los siguientes códigos:

C: Uso Común

E: Uso Especial

P: Uso privativo

R: Uso reservado al Estado

M: Uso mixto que comprende los usos P y R.

Podemos observar que cualquier servicio de dicha banda hace un uso mixto del espectro, lo que comprende tanto el uso privativo como el uso reservado al Estado.

En la columna más a la izquierda, podemos encontrar indicaciones sobre la banda de frecuencias, y se hace referencia a las notas de Utilización Nacionales correspondientes a dicha banda, además de información y comentarios que puedan ser de utilidad. En este caso, se destacan las bandas utilizadas para servicio fijo por satélite, separándolas en la banda destinada a conexiones espacio-tierra y la destinada a conexiones tierra-espacio, y se indica que la nota a utilizar será la UN-62: Radioenlaces según canalización UIT-R.

De entre las subbandas pertenecientes a la banda de 11 GHz se ha hecho uso de la banda de 10,7 – 10,95 GHz en *downlink* y 11,2 – 11,45 GHz en *uplink*, manteniendo en cualquier caso un espaciado de 490 MHz.

ATRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS según el RR de la UIT			ATRIBUCIÓN NACIONAL	USOS	OBSERVACIONES
<b>10 - 11,7 GHz</b>			<b>10 - 11,7 GHz</b>		
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>			
<b>10,6 - 10,68</b>	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Radiolocalización  5.149 5.482 5.482A		<b>10,6 - 10,68</b> FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Radiolocalización	M M R M M R	5.149 5.482 5.482A  UN-61 RADIOENLACES SEGÚN CANALIZACIÓN UIT-R
<b>10,68 - 10,7</b>	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)  5.340 5.483		<b>10,68 - 10,7</b> EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	R R R	5.340
<b>10,7 - 10,95</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.441 (Tierra-espacio) 5.484 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	<b>10,7 - 10,95</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.441 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico		<b>10,7 - 10,95</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (Tierra-espacio) MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	M M M	5.441 5.484  UN-62: RADIOENLACES SEGÚN CANALIZACIÓN UIT-R
<b>10,95 - 11,2</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.484A 5.484B (Tierra-espacio) 5.484 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	<b>10,95 - 11,2</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.484A 5.484B MÓVIL, salvo móvil aeronáutico		<b>10,95 - 11,2</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (Tierra-espacio) MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	M M M	5.484 5.484A 5.484B  UN-62: RADIOENLACES SEGÚN CANALIZACIÓN UIT-R

Figura 5.2(a): Cuadro de atribución correspondiente a la banda 11 GHz.

ATRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS según el RR de la UIT			ATRIBUCIÓN NACIONAL	USOS	OBSERVACIONES
<b>10 - 11,7 GHz</b>			<b>10 - 11,7 GHz</b>		
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>			
<b>11,2 - 11,45</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.441 (Tierra-espacio) 5.484 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	<b>11,2 - 11,45</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.441 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico		<b>11,2 - 11,45</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (Tierra-espacio) MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	M M M	5.441 5.484 UN-62: RADIOENLACES DE ACUERDO CON CANALIZACIÓN UIT-R
<b>11,45 - 11,7</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.484A 5.484B (Tierra-espacio) 5.484 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	<b>11,45 - 11,7</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.484A 5.484B MÓVIL, salvo móvil aeronáutico		<b>11,45 - 11,7</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (Tierra-espacio) MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	M M M	5.484 5.484A 5.484B UN-62: RADIOENLACES DE ACUERDO CON CANALIZACIÓN UIT-R

Figura 5.2(b): Cuadro de atribución correspondiente a la banda 11 GHz.

A continuación, en el CNAF, podemos encontrar numeradas hasta la 164 el texto de las Notas de Utilización Nacional de cada banda, seguido de las decisiones y recomendaciones CEPT y la nota sobre servidumbres radioeléctricas. Finalmente en el documento encontramos las figuras correspondientes a las canalizaciones y planes de utilización de las frecuencias.

Según la nota UN-62, la banda de 11GHz se utiliza para radioenlaces digitales fijos de la red troncal de transporte de alta capacidad. Como se observa en la Figura 5.3 dicha banda está dividida en 12 radiocanales bidireccionales, con un ancho de banda de 40 MHz y con una separación de 530 MHz. La norma permite hacer uso de dos canales adyacentes de 40 MHz siempre que se utilicen modulaciones de alta eficiencia espectral. En la UN-62 se hace referencia a la nota del RR 5.340, en la cual se indica las bandas en las que se prohíben todas las emisiones, por lo que no estará permitido hacer uso del canal 1 de los 12 indicados.

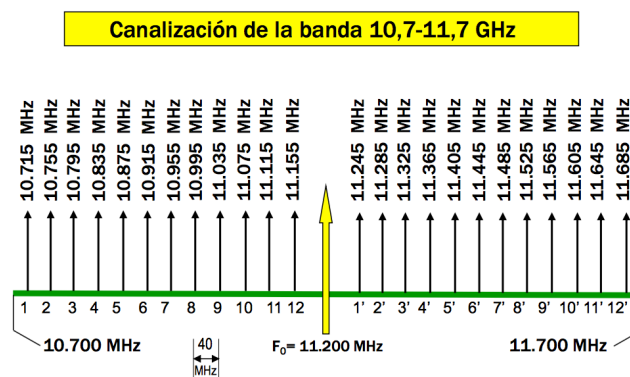


Figura 5.3: Canalización de la banda 10,7 – 11,7 GHz..

## 5.2 Red de acceso

Para la red de acceso, es decir, aquella que interacciona directamente con los usuarios en Millares y en Dos Aguas, se ha escogido la banda no licenciada de 5,8 GHz.

En España, la banda de 5 GHz se utiliza para implementar redes de acceso fijo PTP y PMP de hasta varios kilómetros de cobertura y con línea de visión directa, aspecto que se ha comprobado que el proyecto cumple en apartados anteriores mediante LinkPlanner. Entre los usos de esta banda, destacan por una parte la implementación de soluciones de telecomunicación para Administraciones Públicas y empresas privadas, tratando de mejorar las comunicaciones internas, y por otra parte, la implementación de sistemas de acceso a Internet de banda ancha y telefonía en zonas rurales, tema en el que nos centraremos en el proyecto.

Entre las bandas libres de 5 GHz para comunicaciones inalámbricas, se ha escogido la banda 5725 – 5875 MHz ya que ésta está dedicada a comunicaciones en exteriores. Esta banda se encuentra regulada por la norma de utilización nacional UN-143: Aplicaciones de acceso inalámbrico en 5,8 GHz. Esta norma indica que las instalaciones de estos sistemas en dicha banda deben cumplir una serie de límites, por lo que no deben superar una PIRE de 36 dBm ni una densidad media de potencia PIRE de 23dBm/MHz, además se deben incorporar técnicas de control de potencia (TPC, *Transmission Power Control*) y técnicas de protección de otros sistemas que operen en la misma banda. La banda de 5,8 GHz se encuentra a su vez dividida en dos subbandas de frecuencias: la de 5725 – 5795 MHz y la de 5815 – 5855 MHz.

El principal problema detectado en la banda escogida, al ser una banda no licenciada, es la saturación del espectro y la consiguiente presencia de interferencias que disminuyen la calidad de la conexión. Sin embargo, este problema se detecta principalmente en las instalaciones realizadas en torres de comunicación, quedando el espectro prácticamente libre en entornos alejados como es el caso del presente trabajo, lo que justifica la elección de dicha banda.

Tal y como se ha comprobado para la red troncal, nos centraremos en la región 1 ya que abarca el territorio Europeo.

Observando a continuación el cuadro de atribución de frecuencias de 5,8 MHz en la Figura 5.4, y centrándonos en la columna de la izquierda, podemos observar los servicios correspondientes a la banda de 5725 – 5830 MHz para la región 1. Entre estos servicios encontramos servicio fijo por satélite, radiolocalización y aficionados. El servicio fijo por satélite hace referencia al servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas y por tanto fijas, cuando se hace uso de uno o más satélites. El servicio de radiolocalización, por su parte, se refiere al servicio de radiodeterminación para fines de radiolocalización, y el servicio de aficionado, indica aquellos servicios de radiocomunicaciones dedicados a la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos efectuados por radioaficionados, es decir, personas interesadas en las radiocomunicaciones.

Cabe destacar, que los dos primeros servicios se encuentran escritos en mayúsculas, lo que según la sección II – Categoría de los servicios y de las atribuciones, indica que se trata de servicios primarios, mientras que el servicio de aficionados, se encuentra escrito en minúscula, lo que indica que se trata de un servicio secundario. Esta diferenciación resulta

relevante ya que las estaciones de un servicio secundario no deben causar interferencias a las estaciones de un servicio primario, además no pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario, aunque si tienen derecho a la protección contra interferencias causadas por estaciones de servicios calificados como secundarios.

En segundo lugar, en la columna de la derecha, podemos encontrar la atribución de la banda de frecuencias y los servicios correspondientes, tal y como se ha visto en la columna izquierda.

Seguidamente, en la columna central, podemos observar el tipo de uso del espectro de cada banda de frecuencias, como se ha explicado anteriormente. Para la banda de 5725 – 5830 MHz podemos comprobar que existen diferentes usos, mixto, reservado, y especial. Sin embargo, según la UN-51: Aplicaciones ICM por encima de 2,4 GHz, comprobamos que la banda 5725 – 5875 MHz se trata de una banda de frecuencias designada para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM). Por lo tanto, tal y como se indica en dicha norma, los servicios de radiocomunicaciones que funcionen en esta banda se considerarán de uso común, y podrían por tanto sufrir interferencias procedentes de los servicios de aplicaciones ICM, que supondremos, no serán un problema en el entorno en el que se ha decidido desplegar el radioenlace.

Por último, en la columna más a la izquierda, se indican observaciones relativas a la banda de frecuencias y en la que se han insertado las notas del RR, las notas de Utilización Nacional correspondientes a cada banda y información y comentarios adicionales.

ATRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS según el RR de la UIT			ATRIBUCIÓN NACIONAL	USOS	OBSERVACIONES
<b>5570 - 7250 MHz</b>			<b>5570 - 7250 MHz</b>		
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>			
5570 - 5650	MÓVIL, salvo móvil aeronáutico 5.446A 5.450A RADIOLOCALIZACIÓN 5.450B RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA 5.450 5.451 5.452		5570 - 5650 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico RADIOLOCALIZACIÓN RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA	M R R	5.446A 5.450A 5.450B 5.452 UN-128: RLANs UN-145 TLPR UN-154
5650 - 5725	MÓVIL, salvo móvil aeronáutico 5.446A 5.450A RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Investigación espacial (espacio lejano) 5.282 5.451 5.453 5.454 5.455		5650 - 5725 MÓVIL, salvo móvil aeronáutico RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Investigación espacial (espacio-lejano)	M R E M	5.446A 5.450A UN-128: RLANs UN-145 TLPR UN-154
5725 - 5830 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOLOCALIZA- CIÓN Aficionados 5.150 5.451 5.453 5.455	5725 - 5830 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 5.150 5.453 5.455		5725 - 5830 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados	M R E	5.150 UN-51, UN-87 UN-115, UN-130 UN-143 FWA UN-145 TLPR UN-148 BBDR, UN-154 Banda de aplicaciones ICM: 5725-5875 MHz
5830 - 5850 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOLOCALIZA- CIÓN Aficionados Aficionados por saté- lite (espacio-Tierra) 5.150 5.451 5.453 5.455	5830 - 5850 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Aficionados por satélite (espacio-Tierra) 5.150 5.453 5.455		5830 - 5850 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Aficionados por satélite (espacio-Tierra)	M R E E	5.150 UN-51, UN-87 UN-115, UN-130 UN-143 FWA UN-154 Banda de aplicaciones ICM: 5725-5875 MHz
5850 - 5925 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL 5.150	5850 - 5925 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Aficionados Radiolocalización 5.150	5850 - 5925 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Radiolocalización 5.150	5850 - 5925 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL	M M M	5.150 UN-51, UN-130 UN-144 STI UN-145 TLPR UN-154 Banda de aplicaciones ICM: 5725-5875 MHz

Figura 5.4: Cuadro de atribución correspondiente a la banda 5725 – 5830 MHz.

### 5.3 Asignación de frecuencias

Una vez seleccionada la frecuencia de trabajo de los equipos que se utilizarán en el proyecto, es importante identificar las posibles interferencias que pudieran afectar al enlace, ya que éstas introducen en recepción señales no deseadas que pueden degradar la calidad del sistema. Podemos distinguir las interferencias según su génesis en interferencias intersistema, es decir, procedentes de sistemas externos que trabajen a frecuencias similares, las cuales se han tratado de reducir al escoger una banda de frecuencias licenciada, y en interferencias intrasistema, es decir, procedentes del propio sistema, en las cuales nos centraremos durante este capítulo.

Además, en función de la frecuencia, podemos distinguir entre interferencia cocanal, aquella que se produce al hacer uso de la misma frecuencia, y interferencia de canal adyacente, la cual es posible reducir mediante filtrado. Por otra parte, en función de la polarización podemos encontrar interferencia copolar, la cual se produce al utilizar la misma polarización, y interferencia con polarización cruzada.

Con objeto de reducir al máximo las interferencias que pudieran afectar a la calidad del enlace, se ha decidido establecer un plan de cuatro frecuencias en el que se utilicen alternativamente para cada uno de los vanos. Cabe destacar, que a pesar de incrementar el coste del proyecto al hacer un mayor uso del espectro, se ha preferido implementar un plan a cuatro frecuencias en vez de a dos frecuencias con el objetivo de conseguir mayor robustez. A su vez, y tratando de seguir aumentando la robustez del sistema, se alternarán la polarización horizontal y vertical en cada vano, como se observa en la Figura 5.5.

En la red troncal, se ha hecho uso de la banda de 11 GHz. En dicha banda podemos encontrar dos subbandas, por una parte 10,7 – 10,95 GHz, y por otra parte 11,2 – 11,45 GHz las cuales se utilizarán para los enlaces punto a punto en *downlink* y en *uplink*, evitando así las interferencias y manteniendo un espaciado de 490 MHz entre canales.

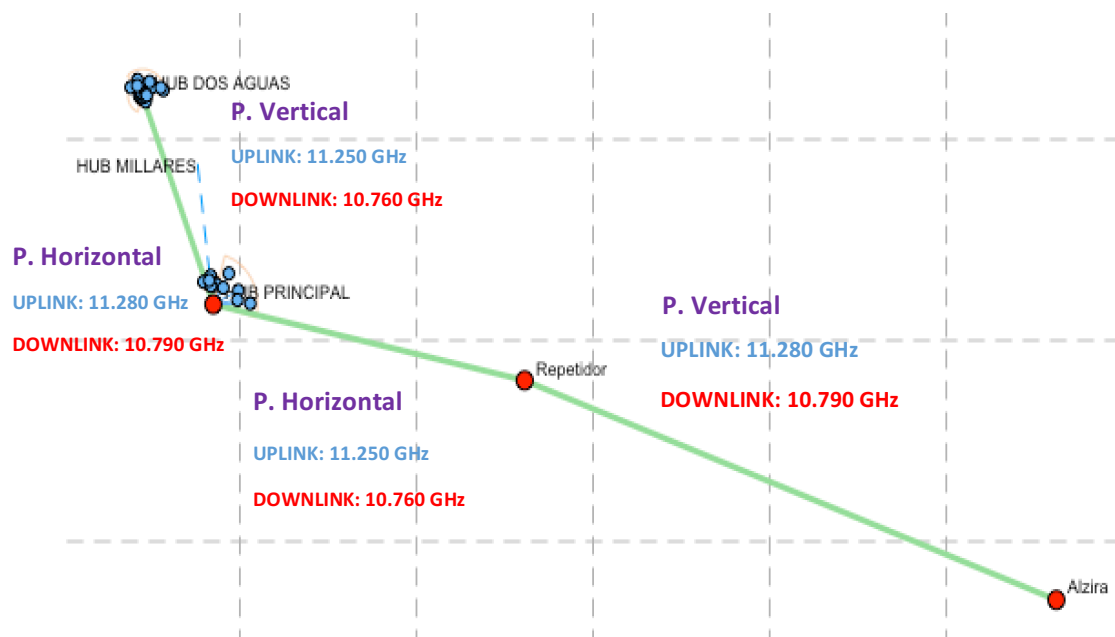


Figura 5.5: Esquema de la asignación de frecuencias para cada vano.

Para el primer vano entre Alzira y el repetidor se ha empleado en *uplink* la frecuencia 11,280 GHz y con un espaciado de 490 MHz se ha empleado la frecuencia 10,790 GHz , en *downlink*. En este vano se ha utilizado polarización vertical.

A continuación, en el vano entre el repetidor y el HUB Principal, se han cambiado tanto las frecuencias como la polarización para aumentar la protección frente a interferencias. Se ha empleado la frecuencia 11,250 GHz en *uplink* y 10,760 GHz en *downlink*, por lo que se mantiene el espaciado de 490 MHz y ahora se ha empleado polarización horizontal.

En el vano entre el HUB Principal y el HUB de Millares se han reutilizado las frecuencias del primer vano ya que no se trata de enlaces contiguos, y se ha empleado polarización horizontal a fin de que las mismas frecuencias del primer vano no vuelvan a ser empleadas con la misma polarización y puedan provocar interferencias.

Por último, en el vano entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas, se han reutilizado las frecuencias del vano entre el repetidor y el HUB Principal, por lo que para garantizar que no hayan interferencias ha sido necesario utilizar una polarización diferente, en este caso polarización vertical.

Una vez determinado el plan de frecuencias para los enlaces punto a punto de la red troncal se ha pasado a determinar la frecuencia utilizada para dar servicio a cada uno de los hogares mediante los enlaces punto a multipunto de la red de acceso. Para ello, se ha decidido hacer uso de la banda no licenciada de 5,8 GHz y de un ancho de banda de 40 MHz.

# Capítulo 6

## Resultados

Una vez realizado el despliegue y dimensionamiento de la red y comprobado que se cumplen los requisitos de calidad para el correcto funcionamiento del radioenlace, resulta importante analizar la cobertura proporcionada a cada uno de los usuarios. Para ello, se comenzará el capítulo con un análisis de los resultados obtenidos tras el despliegue de la red troncal y posteriormente se indicarán las características de cobertura obtenidas en la red de acceso para cada uno de los hogares de muestra desplegados en ambos municipios. Para finalizar el capítulo, se realizará un análisis de la disponibilidad del enlace, mediante el que se pretende comprobar que el tiempo de interrupción del sistema es mínimo.

### 6.1 Cobertura radioeléctrica

Tal y como se ha mencionado en capítulos previos y debido a la selección de una banda de frecuencias más alta en el transmisor en el enlace en sentido *downlink*, la PIRE que se obtiene es mayor, lo que provoca que sea también mayor el nivel de potencia recibido en dicho sentido, y por lo tanto la disponibilidad del enlace sea mayor. A continuación, se detalla en la Tabla 6.1 las características principales de cada uno de los vanos que constituyen la red troncal, así como la PIRE, el nivel de potencia transmitido y recibido, el *throughput*, las pérdidas del enlace y la disponibilidad, verificando que los resultados obtenidos cumplen los requisitos de la red.

Seguidamente, se comprobará la cobertura proporcionada mediante la red de acceso a cada uno de los usuarios de muestra implementados en el municipio de Millares y Dos Aguas. Para ello se han elaborado diferentes tablas en las que se resumen las características principales y en las que se ha separado a cada uno de los usuarios según los *access point* desplegados.



ENLACE	PIRE (dBm)	POWER (dBm)	RECEIVE POWER (dBm)	THROUGHPUT (Mbps)	PATHLOSS (dB)	AVAILABILITY
<b>ALZIRA – REPETIDOR</b>						
UPLINK	60.1	26	-45±4	595.90	139.44	99.896%
DOWNLINK	60.5	26	-44±4	595.92		99.941%
<b>REPETIDOR – HUB PRINCIPAL</b>						
UPLINK	60.1	26	-40±4	595.96	134.29	99.996%
DOWNLINK	60.5	26	-39±4	595.96		99.997%
<b>HUB PRINCIPAL - HUB MILLARES</b>						
UPLINK	45.1	11	-29±4	228.50	110.10	100%
DOWNLINK	45.5	11	-30±4	228.50		100%
<b>HUB PRINCIPAL – HUB DOS AGUAS</b>						
UPLINK	60.1	26	-36±4	280.50	130.02	100%
DOWNLINK	60.5	26	-35±4	280.50		100%

Tabla 6.1: Características de la red troncal.

A continuación se muestran las Tablas 6.2, 6.3 y 6.4, las cuales reflejan las características de cobertura radioeléctrica de cada uno de los enlaces PMP desplegados desde los *access point* del municipio de Millares.

USERS MILLARES ACCESS POINT 1	PIRE (dBm)	POWER (dBm)	P. RCX UPLINK (dBm)	P. RCX DOWNLINK (dBm)	PATHLOSS (dB)	AVAILABILITY
USER1	34	11	-56±5	-49±5	92,92	100%
USER2	36	13	-56±5	-51±5	95,49	100%
USER3	24	1	-57±5	-40±5	83,65	100%
USER4	34	11	-56±5	-49±5	87,82	100%
USER5	29	6	-57±5	-45±5	88,98	100%
USER6	32	9	-57±5	-48±5	93,46	100%
USER7	31	8	-56±5	-46±5	90,06	100%

 Tabla 6.2: Características del primer *access point* desplegado en Millares.

<b>USERS MILLARES ACCESS POINT 2</b>	<b>PIRE (dBm)</b>	<b>POWER (dBm)</b>	<b>P. RCX UPLINK (dBm)</b>	<b>P. RCX DOWNLINK (dBm)</b>	<b>PATHLOSS (dB)</b>	<b>AVAILAB ILITY</b>
<b>USER8</b>	23	0	-57±5	-39±5	89,57	100%
<b>USER9</b>	22	-1	-56±5	-37±5	93,56	100%
<b>USER10</b>	16	-7	-56±5	-31±5	86,33	100%
<b>USER11</b>	28	5	-56±5	-43±5	91,20	100%

 Tabla 6.3: Características del segundo *access point* desplegado en Millares.

<b>USERS MILLARES ACCESS POINT 3</b>	<b>PIRE (dBm)</b>	<b>POWER (dBm)</b>	<b>P. RCX UPLINK (dBm)</b>	<b>P. RCX DOWNLINK (dBm)</b>	<b>PATHLOSS (dB)</b>	<b>AVAILAB ILITY</b>
<b>USER12</b>	36	13	-57±5	-52±5	95,09	100%
<b>USER13</b>	24	1	-56±5	-39±5	98,76	100%
<b>USER14</b>	36	13	-56±5	-51±5	92,60	100%
<b>USER15</b>	23	0	-57±5	-39±5	82,61	100%
<b>USER16</b>	34	11	-57±5	-50±5	93,45	100%
<b>USER17</b>	27	4	-57±5	-43±5	95,21	100%

 Tabla 6.4: Características del tercer *access point* desplegado en Millares.

Dado que en el municipio de Millares se pretende dar cobertura a los hogares ubicados en la periferia, en la Tabla 6.5 se resumen las características de los enlaces PMP desplegados desde el HUB Principal con el objetivo de proporcionar servicio a dichos hogares.

<b>USERS MILLARES ACCESS POINT (H. Principal)</b>	<b>PIRE (dBm)</b>	<b>POWER (dBm)</b>	<b>P. RCX UPLINK (dBm)</b>	<b>P. RCX DOWNLINK (dBm)</b>	<b>PATHLOSS (dB)</b>	<b>AVAILAB ILITY</b>
<b>USER18</b>	36	13	-68±5	-63±5	106,10	100%
<b>USER19</b>	36	13	-60±5	-64±5	108,24	100%
<b>USER20</b>	36	13	-64±5	-59±5	103,29	100%

 Tabla 6.5: Características del *access point* desplegado en Millares desde el HUB Principal.

Por último, en las Tablas 6.6, 6.7 y 6.8 se detallan las características de cobertura para los usuarios de Dos Aguas, separados según el *access point* en el que están ubicados.

<b>USERS DOS AGUAS ACCESS POINT 1</b>	<b>PIRE (dBm)</b>	<b>POWER (dBm)</b>	<b>P. RCX UPLINK (dBm)</b>	<b>P. RCX DOWNLINK (dBm)</b>	<b>PATHLOSS (dB)</b>	<b>AVAILAB ILITY</b>
<b>USER1</b>	23	0	-57±5	-39±5	97,64	100%
<b>USER2</b>	36	13	-60±5	-55±5	104,15	100%
<b>USER3</b>	35	12	-57±5	-51±5	95,40	100%
<b>USER4</b>	32	9	-57±5	-48±5	99,71	100%
<b>USER5</b>	34	11	-57±5	-50±5	101,91	100%
<b>USER6</b>	27	4	-56±5	-42±5	99,69	100%
<b>USER7</b>	22	-1	-56±5	-37±5	88,03	100%
<b>USER8</b>	21	-2	-56±5	-36±5	84,48	100%
<b>USER9</b>	35	12	-57±5	-51±5	98,82	100%
<b>USER10</b>	36	13	-60±5	-55±5	101,41	100%
<b>USER11</b>	36	13	-59±5	-54±5	104,91	100%

 Tabla 6.6: Características del primer *access point* desplegado en Dos Aguas.

<b>USERS DOS AGUAS ACCESS POINT 2</b>	<b>PIRE (dBm)</b>	<b>POWER (dBm)</b>	<b>P. RCX UPLINK (dBm)</b>	<b>P. RCX DOWNLINK (dBm)</b>	<b>PATHLOSS (dB)</b>	<b>AVAILAB ILITY</b>
<b>USER12</b>	30	17	-57±5	-46±5	90,48	100%
<b>USER13</b>	32	9	-57±5	-48±5	90,47	100%
<b>USER14</b>	35	12	-56±5	-50±5	93,59	100%
<b>USER15</b>	31	8	-56±5	-46±5	85,57	100%
<b>USER16</b>	24	1	-57±5	-40±5	83,17	100%

 Tabla 6.7: Características del segundo *access point* desplegado en Dos Aguas.

<b>USERS DOS AGUAS ACCESS POINT 2</b>	<b>PIRE (dBm)</b>	<b>POWER (dBm)</b>	<b>P. RCX UPLINK (dBm)</b>	<b>P. RCX DOWNLINK (dBm)</b>	<b>PATHLOSS (dB)</b>	<b>AVAILAB ILITY</b>
<b>USER17</b>	24	1	-57±5	-40±5	89,10	100%
<b>USER18</b>	27	4	-57±5	-43±5	81,91	100%
<b>USER19</b>	36	13	-60±5	-55±5	99,02	100%
<b>USER20</b>	32	9	-57±5	-48±5	101,35	100%

 Tabla 6.7: Características del tercer *access point* desplegado en Dos Aguas.

## 6.2 Disponibilidad

En apartados anteriores, se ha realizado el despliegue de la red desde el municipio de Alzira a cada uno de los hogares en los municipios de Millares y Dos Aguas, y a su vez, se ha comprobado que se cumplen los requisitos de calidad en cuanto a velocidad demandada por los usuarios según la tarifa previamente planteada. Para ello, ha sido necesario definir las características de los equipos que se van a emplear, sin embargo, y en función de dichas características seleccionadas, la disponibilidad del enlace no será total en algunos casos, aspecto que se va a tratar en el presente apartado.

Resulta esencial comenzar este apartado indicando que se entiende como disponibilidad de un radioenlace su aptitud para desempeñar la función para la cual ha sido desarrollado con la calidad requerida. De la misma manera, se entenderá por indisponibilidad el periodo de tiempo en el cual el radioenlace no se encontrará operativo dado un aumento significativo de la tasa de error, y por lo tanto, se producirá una interrupción del servicio. Para poder determinar que se da una situación de indisponibilidad cabe definir cierto valor de referencia, ya que para periodos cortos de tiempo por debajo de dicho valor únicamente se hablará de pérdida de fidelidad por microinterrupciones y breves degradaciones, y no de indisponibilidad.

La principal causa de indisponibilidad de un radioenlace es la disminución de la potencia recibida por debajo del umbral de sensibilidad, sin embargo, podemos encontrar causas como las interferencias externas o internas, la atenuación por lluvia, la obstrucción del haz, fallos en los equipos o desvanecimientos de la señal radioeléctrica, causados principalmente por la propagación multirrayecto, lo que puede provocar un corte parcial o total de la señal, que aparezca un ruido elevado, discontinuidades en el servicio o cierta distorsión de la señal.

A continuación, se comprobará la indisponibilidad para cada uno de los vanos desplegados en función del *throughput* requerido, habiendo establecido como requisito de calidad del radioenlace un tiempo de fallo máximo de 10 horas anuales, o lo que es lo mismo una disponibilidad mínima del 99,8% del tiempo. Para ello, se analizará cada enlace individualmente realizando pruebas con diferentes modulaciones escogiendo siempre aquella que garantice la viabilidad y calidad del enlace. Cabe destacar, que se trata de una red simétrica, por lo que se esperaría la indisponibilidad del enlace fuera la misma en ambos sentidos de la conexión, sin embargo, y como se ha explicado previamente, dado que se ha indicado que sea el transmisor en *downlink* quien funcione en la banda de frecuencias más alta, la directividad en este sentido será en términos de longitud de onda mayor, lo que comporta que la ganancia obtenida y consecuentemente la PIRE sea también mayor. Por lo tanto, en sentido *downlink* cabe esperar una mayor potencia recibida y una indisponibilidad del enlace algo menor, tal y como se verá a continuación.

En primer lugar, para el enlace entre Alzira y el repetidor, el *throughput* mínimo requerido es de 550 Mbps como se ha visto anteriormente, y la modulación empleada será adaptativa de hasta 1024-QAM, ya que dicha modulación permite alcanzar un *throughput* de 595 Mbps, que cumple el mínimo requerido. Para dicha velocidad, en *uplink* el enlace estará disponible el 99,8967% del tiempo, es decir, únicamente fallará 9,1 horas/año, mientras que en *downlink*, estará disponible el 99,9417% del tiempo, es decir, fallará 5,1 horas/año ya que la potencia

recibida en dicho sentido de la transmisión se estima sea mayor, como se observa en la Figura 6.1. Tratando de reducir costes se ha realizado una prueba en la que se ha empleado una modulación adaptativa máxima de 512-QAM, de esta manera el *throughput* obtenido sería de 548,02 Mbps, por lo que queda muy próximo al objetivo pero no se cumpliría, y en dicho caso la disponibilidad del enlace sería del 99,98% aproximadamente, fallando únicamente 1,5 horas /año en *uplink* y 1,2 horas/año en *downlink*.

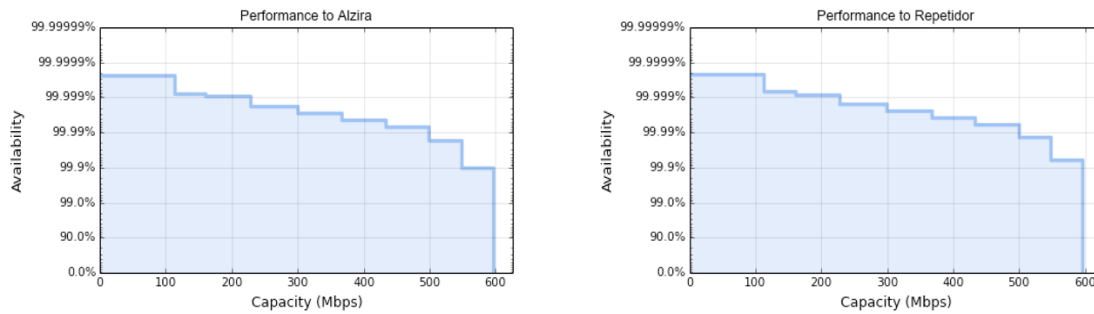


Figura 6.1: Indisponibilidad del enlace entre Alzira y el repetidor.

Para el caso del vano entre el repetidor y el HUB Principal, el *throughput* requerido vuelve a ser de 550 Mbps y la modulación empleada adaptativa de hasta 1024-QAM, ya que permite alcanzar un *throughput* de 595 Mbps. Sin embargo, para dicho vano, en *uplink* la disponibilidad será del 99,9918% del tiempo, por lo que únicamente fallará 43,2 min/año, y en *downlink* la disponibilidad será del 99,9933% del tiempo, fallando únicamente 35,3 min/año como se observa en la Figura 6.2. Dicha diferencia con respecto al vano analizado anteriormente es debido a que la potencia que se prevé recibir en ambos sentidos de la transmisión es ahora mayor, ya que existen menos interferencias en el enlace. Al igual que en el caso anterior, si se utilizara una modulación de hasta 512-QAM, se obtendría un *throughput* de 548,02 Mbps, muy cerca del objetivo pero no llegaría a cumplirse, y la disponibilidad del enlace aumentaría reduciéndose el tiempo de fallo a 18 min/año en *uplink* y 15 min/año en *downlink*.

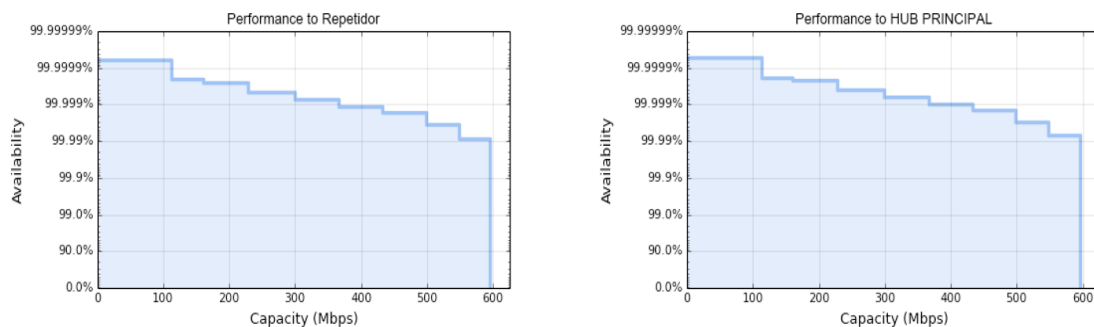


Figura 6.2: Indisponibilidad del enlace entre el repetidor y el HUB Principal.

Para el vano entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas, se requería un *throughput* mínimo de 255 Mbps y se ha empleado modulación adaptativa hasta 64-QAM, que permite alcanzar un *throughput* de 280 Mbps. En dicho enlace, la disponibilidad se puede considerar

del 100% ya que para una modulación 64-QAM únicamente fallará 6 segundos/año en *uplink* y 5 segundos/año en *downlink*, como se observa en la Figura 6.3. Sin embargo, a pesar de considerarse una disponibilidad total para dicha modulación, se ha probado a emplear una modulación de 32-QAM tratando de abaratar costes. En dicho caso, el *throughput* sería de 228 Mbps y por lo tanto no se alcanzaría el mínimo requerido, aunque el tiempo de fallo disminuiría hasta los 3 segundos/año.

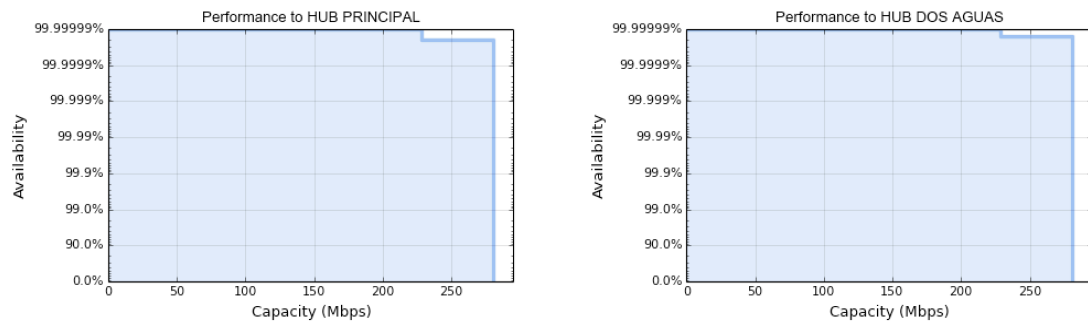


Figura 6.3: Indisponibilidad del enlace entre el HUB Principal y l HUB de Dos Aguas.

Por último, para el enlace entre el HUB Principal y el HUB de Millares se requiere un *throughput* de 212 Mbps, por lo que se ha empleado modulación adaptativa hasta 32-QAM la cual permite alcanzar un *throughput* de 228,5 Mbps. Utilizando dicha modulación, el enlace tendrá una disponibilidad del 100% ya que únicamente fallará 3 segundos/año como se observa en la Figura 6.4.

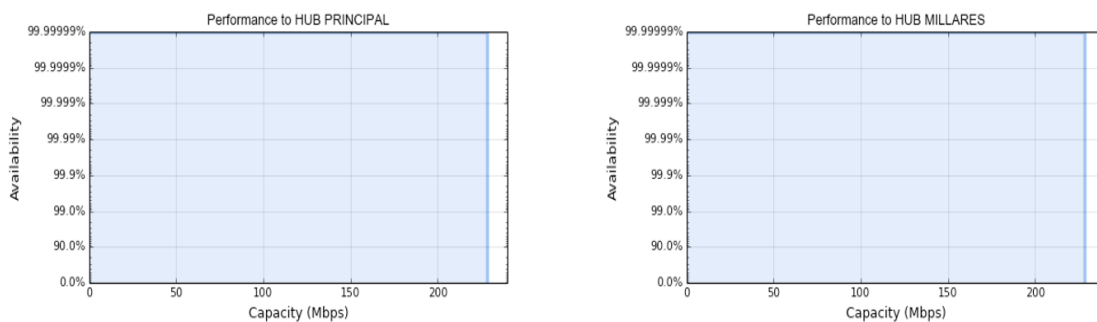


Figura 6.4: Indisponibilidad del enlace entre el HUB Principal y el HUB de Millares.

En el caso de los enlaces punto a multipunto desplegados en ambos municipios para hacer llegar la señal a cada uno de los hogares, la disponibilidad será del 100% en cualquier caso, tal y como se ha comprobado mediante LinkPlanner.

Por lo tanto, se ha podido garantizar que el *throughput* mínimo requerido para obtener la velocidad y calidad de la conexión esperada se cumple en cada uno de los enlaces, y que además la disponibilidad del enlace en ningún caso será menor al 99,8%, requisito establecido al comienzo del diseño. Para todo ello, ha sido necesario realizar diversas pruebas con diferentes modulaciones escogiendo finalmente la que mejor se adaptase en cada uno de los enlaces.

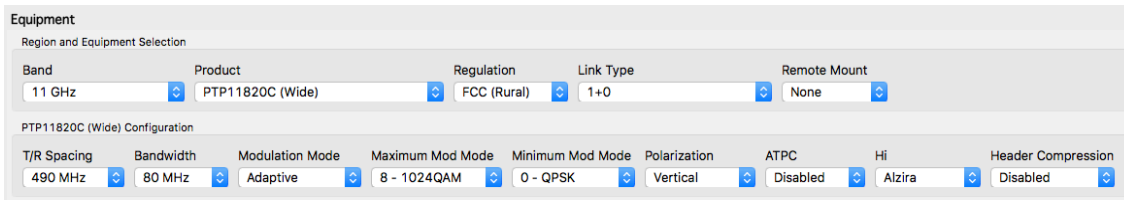
# Capítulo 7

## Equipamiento y presupuesto

### 7.1 Equipamiento

Tras seleccionar la banda de frecuencias a emplear y calcular el *throughput* que se desea obtener, resulta necesario determinar las características de los equipos que se van a emplear en el radioenlace. Durante el presente trabajo y dado que se ha trabajado con la herramienta LinkPlanner los equipos escogidos serán de equipos de la compañía Cambium Networks, seleccionados según la naturaleza del enlace, la banda de frecuencias en la que se va a trabajar y las prestaciones que ofrecen.

En primer lugar, tal y como se indica en la Figura 7.1, para el enlace entre Alzira y el repetidor se ha establecido la banda de frecuencia de trabajo del radioenlace a 11 GHz, como se ha justificado anteriormente, por lo que entre los equipos de la compañía Cambium Network se ha escogido la antena PTP 11820C ancha con una ganancia de 34,8 dBi y situada a una altura de 10 metros. La regulación utilizada ha sido la *Federal Communications Commission* (FCC) rural dado el entorno de despliegue del enlace y se ha establecido un enlace de tipo básico 1+0 ya que no estará basado en diversidad. Se ha utilizado un ancho de banda de 80 MHz y un espaciado entre los canales de frecuencia en transmisión y recepción de 490 MHz como se ha visto previamente. La polarización empleada ha sido vertical con el objetivo de reducir las interferencias y la modulación adaptativa hasta 1024-QAM dado que resultaba necesario para el correcto funcionamiento del enlace. Al seleccionar la opción de modulación adaptativa se permitirá que el equipo ajuste automáticamente la modulación óptima, por lo que esta opción se empleará también para el resto de vanos. Mediante la opción *Automatic Transmit Power Control* (ATPC) se permite habilitar el control automático de potencia transmitida ajustando en función de la señal recibida la potencia de salida del transmisor, en este caso y para el resto de vanos se ha mantenido deshabilitado. Por último, mediante la opción *Hi* se indica que extremo del enlace tendrá acceso a las frecuencias más altas, por lo que se ha seleccionado el transmisor en *downlink* para todos los vanos, en este caso por tanto, Alzira, lo que como hemos visto anteriormente ha condicionado que la potencia recibida y la disponibilidad del enlace sea algo mayor en sentido descendente.



**Equipment**

Region and Equipment Selection

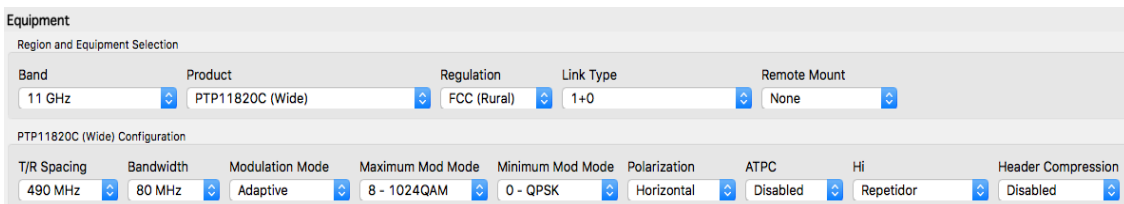
Band	Product	Regulation	Link Type	Remote Mount
11 GHz	PTP11820C (Wide)	FCC (Rural)	1+0	None

PTP11820C (Wide) Configuration

T/R Spacing	Bandwidth	Modulation Mode	Maximum Mod Mode	Minimum Mod Mode	Polarization	ATPC	Hi	Header Compression
490 MHz	80 MHz	Adaptive	8 - 1024QAM	0 - QPSK	Vertical	Disabled	Alzira	Disabled

Figura 7.1: Características de los equipos empleados en el enlace entre Alzira y el repetidor.

A continuación, como se observa en la Figura 7.2 en el enlace entre el repetidor y el HUB Principal se ha utilizado la banda de frecuencias de 11 GHz y la antena de la empresa Cambium Network PTP 11820C ancha con una ganancia de 34,8 dBi y con una altura de 10 metros. Tal y como se ha especificado anteriormente, la regulación empleada ha sido FCC rural y se ha establecido un radioenlace de tipo básico 1+0 dado que no se ha implementado diversidad. El espaciado se ha fijado en 490 MHz y el ancho de banda empleado ha sido 80 MHz. Se ha empleado modulación adaptativa, para ajustar así automáticamente la modulación óptima en cada momento hasta 1024-QAM y la polarización se ha fijado horizontal, a fin de evitar interferencias. El control automático de potencia se ha mantenido deshabilitado y se ha permitido el acceso al rango de frecuencias más elevado al transmisor, que en dicho enlace será el repetidor.



**Equipment**

Region and Equipment Selection

Band	Product	Regulation	Link Type	Remote Mount
11 GHz	PTP11820C (Wide)	FCC (Rural)	1+0	None

PTP11820C (Wide) Configuration

T/R Spacing	Bandwidth	Modulation Mode	Maximum Mod Mode	Minimum Mod Mode	Polarization	ATPC	Hi	Header Compression
490 MHz	80 MHz	Adaptive	8 - 1024QAM	0 - QPSK	Horizontal	Disabled	Repetidor	Disabled

Figura 7.2: Características de los equipos empleados en el enlace entre el repetidor y el HUB Principal.

Para en enlace entre el HUB Principal y el HUB de Millares, y tal y como se comprueba en la Figura 7.3 se ha especificado la banda de frecuencia de trabajo del radioenlace a 11GHz, por lo que entre los equipos de la empresa Cambium Network se ha escogido la antena PTP 11820C estrecha, ya que el *throughput* que proporcionaba era suficiente y no resultaba necesario emplear el modelo de antena ancho. La antena se ha escogido con una ganancia de 34,8 dBi y se ha situado a 10 metros de altura en el HUB Principal pero a 8 metros de altura en el HUB de Millares, a fin de abaratar costes. La regulación utilizada ha sido la FCC rural y se ha establecido un enlace de tipo básico 1+0 como anteriormente se ha justificado. Se ha utilizado un ancho de banda de 80 MHz y un espaciado entre los canales de frecuencia en transmisión y recepción de 490 MHz. En el enlace se ha empleado polarización horizontal y se ha fijado una modulación adaptativa de hasta 32-QAM, ya que tras realizar diversas pruebas se ha comprobado que no resultaba necesario emplear modulaciones más complejas para el correcto funcionamiento del enlace. El control automático de potencia se ha mantenido deshabilitado y se ha permitido el acceso al rango de frecuencias más alto al transmisor, es decir, al HUB Principal.



Equipment									
Region and Equipment Selection									
Band	Product	Regulation	Link Type	Remote Mount					
11 GHz	PTP11820C (Narrow)	FCC (Rural)	1+0	None					
PTP11820C (Narrow) Configuration									
T/R Spacing	Bandwidth	Modulation Mode	Maximum Mod Mode	Minimum Mod Mode	Polarization	ATPC	Hi	Header Com	
490 MHz	80 MHz	Adaptive	3 - 32QAM	0 - QPSK	Horizontal	Disabled	HUB PRINCIPAL	Disabled	

Figura 7.3: Características de los equipos empleados en el enlace entre el HUB Principal y el HUB de Millares.

En el enlace entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas, como se observa en la Figura 7.4 se ha especificado la banda de frecuencia de trabajo del radioenlace a 11 GHz y se ha escogido la antena PTP 11820C estrecha con una ganancia de 34,8 dBi y situada a una altura de 8 metros en el HUB de Dos Aguas. La regulación utilizada ha sido la FCC rural dado el entorno de despliegue del enlace y se ha establecido un enlace de tipo básico 1+0. Se ha utilizado un ancho de banda de 80 MHz y un espaciado de 490 MHz. La polarización empleada ha sido vertical con el objetivo de reducir las interferencias con otros vanos que hacen uso de la misma banda de frecuencias y la modulación adaptativa hasta 64-QAM. El control automático de potencia se ha mantenido deshabilitado deshabilitado y el HUB principal será el extremo del enlace que tendrá acceso a las frecuencias más altas.

Equipment									
Region and Equipment Selection									
Band	Product	Regulation	Link Type	Remote Mount					
11 GHz	PTP11820C (Narrow)	FCC (Rural)	1+0	None					
PTP11820C (Narrow) Configuration									
T/R Spacing	Bandwidth	Modulation Mode	Maximum Mod Mode	Minimum Mod Mode	Polarization	ATPC	Hi	Header Co	
490 MHz	80 MHz	Adaptive	4 - 64QAM	0 - QPSK	Vertical	Disabled	HUB PRINCIPAL	Disabled	

Figura 7.4: Características de los equipos empleados en el enlace entre el HUB Principal y el HUB de Dos Aguas.

Por lo tanto, tal y como se ha visto, se ha empleado la antena PTP11820C para la red troncal, utilizando el modelo ancho en los enlaces entre Alzira - repetidor - HUB Principal y el modelo estrecho en los enlaces con el HUB de Millares y el HUB de Dos Aguas, funcionando en la banda de 11 GHz y cuya ganancia máxima es de 35 dBi. Dicha antena se representa en la Figura 7.5.



Figura 7.5: Antena PTP11820C.

Para los enlaces PMP desplegados se ha utilizado la banda de frecuencias de 5,8 GHz, por lo que se ha escogido la antena de Cambium Networks PMP450i con una ganancia de 18 dBi para cada *access point* y ubicada a una altura de 8 metros. Dicha antena se ha representado en la Figura 7.6.



Figura 7.6: Antena PMP450i *Access Point*.

Por último, en cada uno de los hogares se ha empleado una antena PMP450i, pero con una ganancia de 23 dBi y la altura se ha fijado en la mínima posible tras estudiar cada caso en particular, siendo de un metro en los hogares que lo permitían y de hasta 11 metros en uno de los hogares en los que resultaba necesario para que existiera línea de visión directa. Dicha antena se representa en la Figura 7.7.



Figura 7.7: Antena PMP450i *Suscriber module*.

## 7.2 Presupuesto

Part Number	ÍTEM	CANTIDAD					PRECIO/UD	PRECIO
		ALZIRA- REPETIDOR	REPETIDOR- H.PRINCIPAL	H.PRINCIPAL- H.DOSAGUAS	H.PRINCIPAL- H.MILLARES	TOTAL		
C110082B029	PTP 820C Radio 11GHz, TR500,Ch1W6,Hi,11185-11485MHz				1	1	2 6.995,00 €	13.990,00 €
C110082B030	PTP 820C Radio 11GHz, TR500,Ch1W6,Lo,10695-10955MHz				1	1	2 8.365,00 €	16.730,00 €
C110082B043	PTP 820C Radio 11WGHz, TR500,Ch1W6,Hi,11185-11485MHz	1	1				2 8.500,00 €	17.000,00 €
C110082B044	PTP 820C Radio 11WGHz, TR500,Ch1W6,Lo,10695-10955MHz	1	1				2 8.500,00 €	17.000,00 €
EW-E4PT820C-WW	PTP820C Extended Warranty, 4 Additional Years	2	2	2	2		8 480,00 €	3.840,00 €
N000082L014	PTP 820 Glands_x5_KIT	2	2	2	2		8 29,00 €	232,00 €
N000082L016	PTP 820 CAT5E Outdoor 100m drum	1	1	1	1		4 404,00 €	1.616,00 €
N000082L017	PTP 820 Grounding Kit for CAT5e F/UTP 8mm cable	4	4	4	4		16 15,00 €	240,00 €
N000082L022	PTP 820 PoE Injector all outdoor, redundant DC input, +24VDC support	2	2	2	2		8 997,00 €	7.976,00 €
N000082L073	PTP 820 GBE_Connector_kit	1	1	1	1		4 23,00 €	92,00 €
N000082L079	PTP 820C Act.Key - Capacity 650M with ACM Enabled, per Tx Chan	2	2				4 1.500,00 €	6.000,00 €
N000082L116	PTP 820 GROUND CABLE FOR IDU and ODU	2	2	2	2		8 21,00 €	168,00 €
N000082L130	PTP 820C Act.Key - Capacity 300M with ACM Enabled, per Tx Chan			2	2		4 1.261,00 €	5.044,00 €
N110082D072	PTP 820 2' ANT,SP,11GHz,RFU-C TYPE&Std UBR100 - Andrew	2	2	2	2		8 550,00 €	4.400,00 €
N110082L082	PTP 820C OMT KIT 10-11GHz	2	2	2	2		8 875,00 €	7.000,00 €
N110082L092	PTP 820 RFU-C 10_11GHz OMT Interface- Andrew	2	2	2	2		8 111,00 €	888,00 €
								<b>102.216,00 €</b>

Tabla 7.1: Presupuesto de la red troncal.

Part Number	ÍTEM	CANTIDAD				PRECIO/UD	PRECIO
		DOS AGUAS	MILLARES	HUB PRINCIPAL	TOTAL		
1010419001	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable	6	6	2	14	26,00 €	364,00 €
C000065L007	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)	3	3	1	7	400,00 €	2.800,00 €
C050045A007	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU)	3	3	1	7	3.359,00 €	23.513,00 €
EW-E4PM45AP-WW	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years	3	3	1	7	244,00 €	1.708,00 €
N000000L034	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support	3	3	1	7	25,00 €	175,00 €
WB3176	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E	1	1	1	3	495,00 €	1.485,00 €
<b>HOGARES</b>							
(no part number)	Unspecified Power Lead	115	96	17	228		
C000000L033	Gigabit Surge Suppressor (56V)	115	96	17	228	50,00 €	11.400,00 €
C050045C002	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna	115	96	17	228	699,00 €	159.372,00 €
EW-E4PM4ISM-WW	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years	115	96	17	228	54,00 €	12.312,00 €
N000000L034	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support	115	96	17	228	25,00 €	5.700,00 €
N000045L002	Tilt Bracket Assembly	115	96	17	228	29,00 €	6.612,00 €
							<b>225.441,00 €</b>

Tabla 7.2: Presupuesto de la red de acceso.

Cabe destacar, que para la elaboración de este presupuesto únicamente se ha tenido en cuenta el coste de los equipos y que no se han incluido costes como la mano de obra de la instalación o las licencias requeridas para el despliegue de la red como sería la licencia necesaria para hacer uso de la banda de 11 GHz. En la realización de dicho presupuesto se ha calculado por una parte el coste de los equipos de la red troncal el cual asciende a 102.216€ y por otra parte el coste de los equipos de la red de acceso teniendo en cuenta el número de hogares previstos como potenciales clientes, es decir 228, el cual asciende a 225.441€. Por tanto, el coste del total de los equipos requeridos para la implantación del proyecto será de 327.657€.

Se ha previsto que el precio de la tarifa de 1 Mbps sea de 23€ mensuales, mientras que el de la tarifa de 5 Mbps sea de 28€ mensuales, por lo que contando que habrían 228 hogares suscritos según la planificación realizada al inicio del trabajo, se ha calculado que se obtendrían unos ingresos anuales de 67.068€, tal y como se observa en la Tabla 7.3.

	HOGARES	PRECIO	INGRESOS MENSUALES	INGRESOS ANUALES	TOTAL INGRESOS ANUALES
1Mbps	159	23,00 €	3.657,00 €	43.884,00 €	67.068,00 €
5Mbps	69	28,00 €	1.932,00 €	23.184,00 €	

Tabla 7.3: Cálculo de los ingresos anuales.

Suponiendo que la demanda y los precios de las tarifas se mantuviesen estables y utilizando un criterio simplificado o estático de análisis de la inversión como es el *payback*, se observa en la Tabla 7.4 que en el año 5 los ingresos pasarían de negativos a positivos, indicando que a partir de ese momento la empresa empieza a obtener beneficios de la inversión llevada a cabo.

AÑO	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-327.657,00 €					
INGRESOS/AÑO		67.068,00 €	67.068,00 €	67.068,00 €	67.068,00 €	67.068,00 €
BENEFICIO	-327.657,00 €	-260.589,00 €	-193.521,00 €	-126.453,00 €	-59.385,00 €	7.683,00 €
						<b>PAYBACK</b>

Tabla 7.4: Cálculo del *payback* de la inversión.

# Capítulo 8

## Conclusiones y líneas de trabajo futuras

Una vez cumplimentados todos los pasos necesarios para lograr el objetivo principal del trabajo, dotar de un servicio de banda ancha óptimo garantizando la disponibilidad de la conexión en los municipios de Millares y Dos Aguas, resulta relevante extraer las conclusiones que se han ido obteniendo durante el desarrollo del trabajo. Además, se ha realizado una propuesta de trabajo futura con el propósito de mejorar las características de la red mediante una reducción las interferencias.

### 8.1 Conclusiones

Tal y como se ha visto a lo largo del trabajo y en línea con la tendencia que caracteriza a las áreas rurales en España, la población en dichos municipios apenas alcanza los 300 habitantes, cifra que además ha ido decreciendo durante los últimos años y que se tratará de frenar mediante la implementación de un radioenlace digital de servicio fijo que permita establecer una conexión de calidad a Internet y por tanto facilite las comunicaciones en la zona, así como el correcto desarrollo de un núcleo rural.

Para ello, se ha comenzado realizando una planificación sobre el número de hogares que solicitarían el servicio de acceso a Internet, y se ha establecido una tarifa en función de las velocidades que se prevé requerirían los abonados. En el presente trabajo, se ha planteando una red simétrica capaz de proporcionar una velocidad de 1 Mbps al 70% de los hogares y de 5 Mbps al 30% restante en ambos municipios. El precio de tarifa se ha fijado en 23€ mensuales para los hogares que requieran 1 Mbps y en 28€ mensuales para los hogares que requieran 5 Mbps.

El despliegue de dicha red se ha implementado mediante la herramienta LinkPlanner y haciendo uso de los equipos de Cambium Networks. En primer lugar, se ha desplegado la red troncal, la cual ha requerido de un enlace PTP desde Alzira hasta el HUB Principal en el que ha sido necesario la implementación de un repetidor para permitir la visión directa, y posteriormente, desde dicho punto, se han desplegado otros dos enlaces PTP a cada uno de

los municipios. A continuación, se ha desplegado la red de acceso, para ello en cada población se ha desplegado una red PMP, seleccionado veinte hogares de prueba de entre los más inaccesibles y implementando tres *access point* configurados de manera que se cubra todo el territorio y exista línea de visión directa con cada uno de los hogares. Además, con el objetivo de cubrir también el área periférica del municipio de Millares, donde se encuentran una cierta cantidad de hogares y fabricas, se ha propuesto desplegar un *access point* desde el HUB Principal, ya que debido a su ubicación y cercanía con el municipio resultaba el lugar idóneo para permitir la visión directa con dichos hogares.

Una vez implementado el despliegue tanto de la red troncal como de la red de acceso, se ha procedido a realizar su dimensionamiento. Para ello, se han seleccionado los equipos a emplear, así como las diferentes modulaciones, comprobando en cualquier caso que el *throughput* obtenido cumpliera los requisitos de la red.

Posteriormente, se han definido las bandas de frecuencia a utilizar. En este caso, para la red troncal se ha empleado la banda licenciada de 11 GHz, la cual a pesar de incrementar el coste del proyecto garantizará que no existan interferencias procedentes de sistemas externos que utilicen la misma banda y degraden la calidad de la señal. Por otra parte, para la red de acceso, y tratando de reducir costes, se ha empleado la banda no licenciada de 5,8 GHz. A continuación, y con el objetivo de reducir las interferencias intrasistema y hacer un uso del espectro lo menor posible pero siempre garantizando la robustez del sistema, se ha empleado un plan a cuatro frecuencias en el que se han asignado alternativamente a cada vano con un espaciado de 490 MHz entre los canales de transmisión y recepción, además de haber alternado la polarización entre vertical y horizontal.

A su vez, buscando asegurar el correcto funcionamiento de la red, se han comprobado los resultados obtenidos. Para ello, en primer lugar, se ha analizado la cobertura radioeléctrica proporcionada en cada uno de los hogares, asegurando que existía en cualquier caso línea de visión directa. Posteriormente, se han comprobado los parámetros de indisponibilidad en cada uno de los enlaces, para lo que ha sido necesario realizar pruebas con diferentes modulaciones de manera que se garantizase que el tiempo de fallo del servicio era el mínimo posible, y que en ningún caso la disponibilidad del enlace era menor al 99,8% del tiempo.

Por último, con la intención de facilitar la puesta en marcha del proyecto en un futuro, se ha elaborado un presupuesto real en el que se han detallado las características de los equipos necesarios para el despliegue de la red, así como las cantidades requeridas. Además, se ha calculado que según la tarifa establecida los ingresos anuales que se obtendrían ascenderían a 67.068€ y que el coste final de los equipos en el que se incurriría sería de 327.657€, obteniendo de esta manera un *payback* o plazo de recuperación de la inversión de 5 años.

Por lo tanto, tras la realización del trabajo, se ha podido comprobar que el despliegue de un radioenlace es la mejor solución a implementar en entornos rurales con baja densidad de población, ya que al tratarse de una red inalámbrica permite llegar a zonas de difícil acceso como es el caso del presente trabajo, además de tener un alcance total y un bajo coste de implementación. Cabe destacar, que la implementación de un radioenlace supone una solución fácilmente escalable que permitiría incrementar el número de usuarios ante un aumento futuro de la demanda.

## 8.2 Líneas de trabajo futuras

Para finalizar con el presente TFG, resulta relevante destacar que durante todo el trabajo se han tratado de minimizar las interferencias tanto intersistema, mediante la selección de una banda de frecuencias licenciada, como intrasistema, haciendo uso de un plan a cuatro frecuencias y alternando polarización vertical y horizontal. Sin embargo, como propuesta para continuar con la elaboración y mejora del proyecto, se propone calcular y tratar de reducir todavía más estas interferencias intrasistema, ya que a pesar de emplear una polarización en concreto en cada uno de los equipos, se debe tener en cuenta el efecto de la polarización cruzada, es decir, de la radiación ortogonal a la especificada que se recibe y que degrada la calidad del sistema.

Para ello, resultaría necesario obtener los diagramas de radiación de cada una de las antenas empleadas, reflejando en el mismo la componente copolar y de polarización cruzada, la cual interesaría que fuese lo más pequeña posible y calculando posteriormente el nivel de interferencia que se produciría en el receptor debido a la radiación a la misma frecuencia pero en la componente ortogonal a la esperada por otro transmisor correspondiente a otro vano.

Para determinar la pureza de la polarización de una antena se pueden utilizar diferentes parámetros como son el cociente entre los módulos del máximo del campo radiado en cada polarización o la discriminación de polarización cruzada.

Una vez calculado el nivel de interferencia por polarización cruzada que se produce en el radioenlace diseñado y dado que dicha interferencia podría reducir la calidad del sistema, cabría encontrar una solución. Una de las propuestas planteadas sería la implementación en el receptor un sistema para filtrar la componente de polarización cruzada, conocido como *Cross-Polarization Interference Cancellation (XPIC)* capaz de cancelar la interferencia entre dos señales recibidas con polarización vertical y horizontal.



# Bibliografía

(2017) “Tipos de conexiones a Internet. ¿Cuál te conviene mas?” en Ahí+econectia.  
<https://www.econectia.com/blog/tipos-de-conexiones-a-internet-cual-te-conviene-mas>

Apuntes de la asignatura Radiación y radiocomunicación. Universidad de Sevilla.  
<https://personal.us.es/murillo/docente/radio/documentos/tema8.pdf>

Apuntes de la asignatura Radiocomunicaciones.

Apuntes de la asignatura Tecnologías y Sistemas en Redes de Acceso.

BLASCO, L. (5 de Septiembre de 2016). “Cuales son las diferencias entre E, GPR, 3G, 4G, 5G y esas otras redes a las que se conecta tu celular”. *BBC*.  
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-37247130>

CAMBIUM NETWORKS. “PTP820 Licensed Ethernet Microwave for multi-service networks”.  
[https://cdn.cambiumnetworks.com/wpcontent/uploads/2019/09/BR\\_PTP820\\_01302019\\_pages.pdf](https://cdn.cambiumnetworks.com/wpcontent/uploads/2019/09/BR_PTP820_01302019_pages.pdf)

HUESCA, P. “Radioenlace-¿Qué es un radioenlace?” en *Radiocomunicaciones*.  
<http://www.radiocomunicaciones.net/radio/radio-enlace-que-es-un-radioenlace/>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. “Encuesta sobre Equipamiento y uso de tecnologías de información y comunicación en los hogares”.  
<http://www.agroinformacion.com/la-brecha-digital-entre-el-medio-rural-y-el-urbano-se-reduce-pero-aun-queda-mucho-por-hacer/>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Demografía y población.  
[http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica\\_P&cid=1254735572981](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735572981)

MILLÁN TEJEDOR, R.J. “Tecnologías de acceso de banda ancha”.  
<https://www.ramonmillan.com/tutoriales/accesobandaancha.php>

MINISTERIO DE ECONOMÍA. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. (CNAF).  
<https://avancedigital.gob.es/espectro/Paginas/cnaf.aspx>

MINISTERIO DE INDUSTRIA , COMERCIO Y TURISMO. “Informe anual de cobertura de banda ancha en España”.  
<https://www.mincotur.gob.es/es-es/GabinetePrensa/NotasPrensa/2018/Paginas/20180504-informe-banda-ancha.aspx>

PALAZUELOS, F. (16 de Mayo de 2019). “Arranca el plan de Elon Musk de conectar al mundo a Internet por satélite”. *El país*.  
[https://elpais.com/tecnologia/2019/05/15/actualidad/1557927104\\_184045.html](https://elpais.com/tecnologia/2019/05/15/actualidad/1557927104_184045.html)

RAMOS PASCUAL, F. (2014) “Cálculo de interferencias” en *Tecnologías inalámbricas y diseño de radioenlaces*.  
<http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-interferencias/>

RODRIGUEZ, E. (2013) “¿Qué es la brecha digital?” en *Coaching Tecnológico*.  
<https://www.coaching-tecnologico.com/que-es-la-brecha-digital/>

YouTube. “Cambium – Simulación de PTMP con LinkPlanner”.  
<https://www.youtube.com/watch?v=GmKu3P0MuIU>

YouTube. “LinkPlanner – Como realizar cálculos PMP –ePMP1000 & PMP450”.  
<https://www.youtube.com/watch?v=GmKu3P0MuIU>

# Anexos

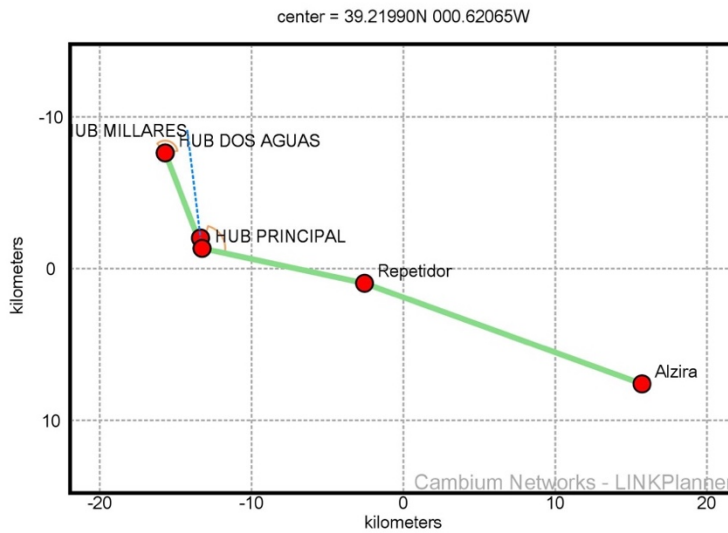
## Anexo I – Informe del proyecto en LinkPlanner



### Project Alzira-Millares-DosAguas LINKPlanner Proposal Report

10 June 2019

Organization: irene  
Phone: 634966705  
Email: irenegoalbez@gmail.com





## Table of Contents

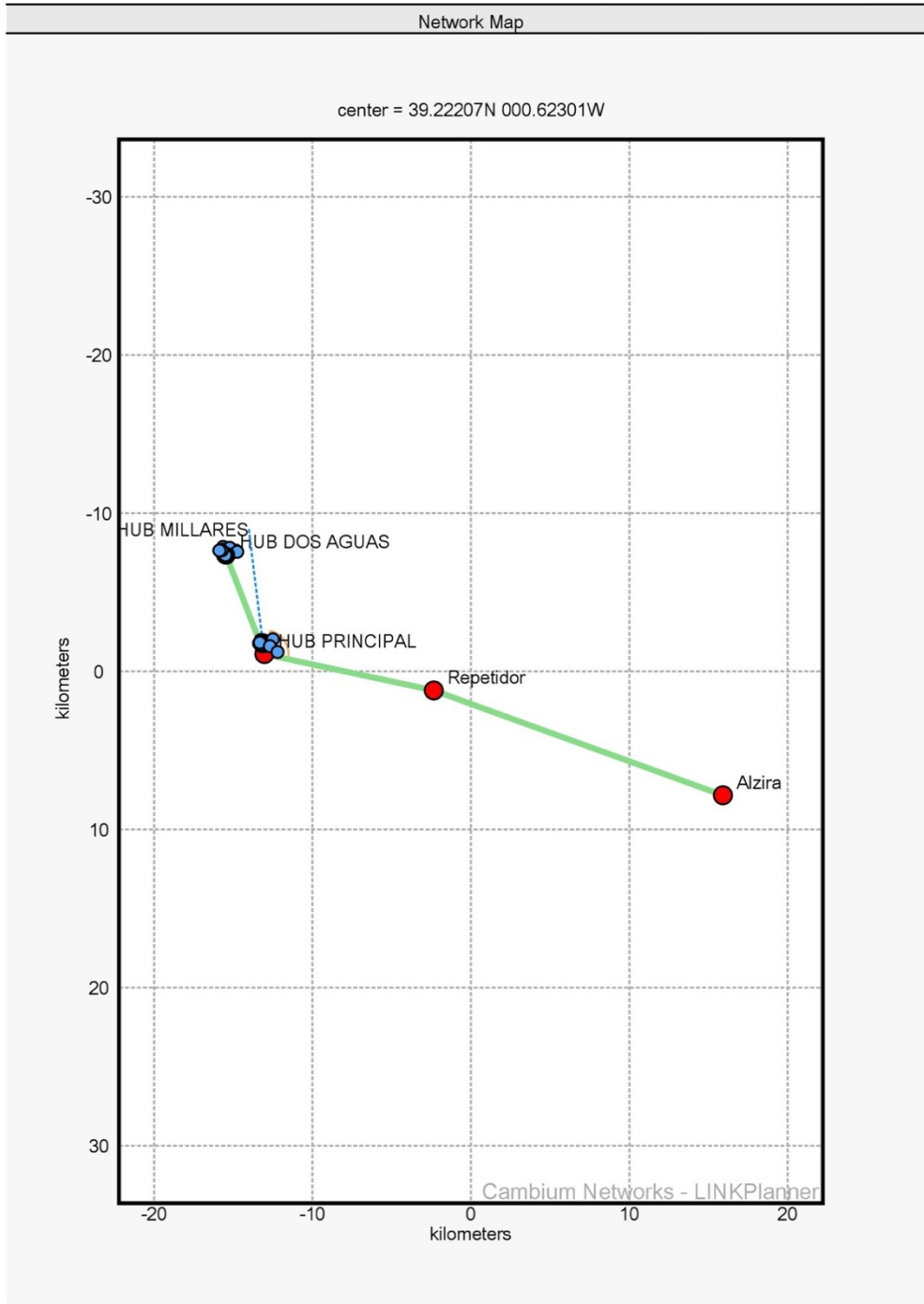
1. Project Summary	3
2. Alzira to Repetidor	7
3. HUB PRINCIPAL to HUB DOS AGUAS	10
4. HUB PRINCIPAL to HUB MILLARES	13
5. Repetidor to HUB PRINCIPAL	16
6. HUB DOS AGUAS	19
7. HUB DOS AGUAS : 1	20
8. HUB DOS AGUAS : 2	22
9. HUB DOS AGUAS : 3	24
10. HUB MILLARES	26
11. HUB MILLARES : 1	27
12. HUB MILLARES : 2	29
13. HUB MILLARES : 3	31
14. HUB PRINCIPAL	33
15. HUB PRINCIPAL : 1	34
Disclaimer	36



## 1. Project Summary

**Project:** Alzira-Millares-DosAguas

General Information	
Customer Name	
Company Name	
Address	
Phone	
Cell Phone	
Email	





## Project Alzira-Millares-DosAguas - 1. Project Summary

Link name	Product	Local antenna	Remote antenna	Max aggregate IP throughput
Alzira to Repetidor	PTP11820C (Wide)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	1191.82 Mbps
HUB PRINCIPAL to HUB DOS AGUAS	PTP11820C (Narrow)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	561.16 Mbps
HUB PRINCIPAL to HUB MILLARES	PTP11820C (Narrow)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	456.99 Mbps
Repetidor to HUB PRINCIPAL	PTP11820C (Wide)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N110082D072 - Direct	1191.92 Mbps

Access Point Name	Product	Antenna Azimuth	Beamwidth	Band	Max Range	Connected Subscribers	Total Predicted Throughput
HUB DOS AGUAS : 1	PMP450i	20.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	11	57.78 Mbps
HUB DOS AGUAS : 2	PMP450i	140.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	5	35.02 Mbps
HUB DOS AGUAS : 3	PMP450i	260.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	4	35.02 Mbps
HUB MILLARES : 1	PMP450i	60.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	7	40.86 Mbps
HUB MILLARES : 2	PMP450i	180.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	4	35.02 Mbps
HUB MILLARES : 3	PMP450i	300.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	6	35.02 Mbps
HUB PRINCIPAL : 1	PMP450i	60.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	3	35.02 Mbps

Bill of Materials : PTP Network		
Part Number	Qty	Description
C110082B029	2	PTP 820C Radio 11GHz,TR500,Ch1W6,Hi,11185-11485MHz
C110082B030	2	PTP 820C Radio 11GHz,TR500,Ch1W6,Lo,10695-10955MHz
C110082B043	2	PTP 820C Radio 11WGHz,TR500,Ch1W6,Hi,11185-11485MHz. Stock item, short lead time
C110082B044	2	PTP 820C Radio 11WGHz,TR500,Ch1W6,Lo,10695-10955MHz. Stock item, short lead time
EW-E4PT820C-WW	8	PTP820C Extended Warranty, 4 Additional Years
N000082L014	8	PTP 820 Glands_x5_KIT



Project Alzira-Millares-DosAguas - 1. Project Summary

Bill of Materials : PTP Network (continued)		
Part Number	Qty	Description
N000082L016	4	PTP 820 CAT5E Outdoor 100m drum
N000082L017	16	PTP 820 Grounding Kit for CAT5e F/UTP 8mm cable. Add 2 additional kits per PoE Injector that is installed outdoors
N000082L022	8	PTP 820 PoE Injector all outdoor, redundant DC input, +24VDC support. Requires either a DC supply or AC/DC Power Adapter
N000082L073	4	PTP 820 GBE_Connector_kit
N000082L079	4	PTP 820C Act.Key - Capacity 650M with ACM Enabled, per Tx Chan
N000082L116	8	PTP 820 GROUND CABLE FOR IDU and ODU
N000082L130	4	PTP 820C Act.Key - Capacity 300M with ACM Enabled, per Tx Chan
N110082D072	8	PTP 820 2' ANT,SP,11GHz,RFU-C TYPE&Std UBR100 - Andrew. Available in all regions
N110082L082	8	PTP 820C OMT KIT 10-11GHz
N110082L092	8	PTP 820 RFU-C 10_11GHz OMT Interface-Andrew

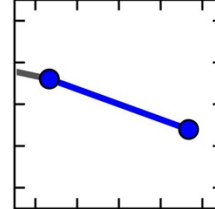
Bill of Materials : PMP Network		
Part Number	Qty	Description
01010419001	14	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	7	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	7	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	7	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	7	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	2	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP)

Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	40	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	40	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	40	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	40	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	40	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	40	Tilt Bracket Assembly





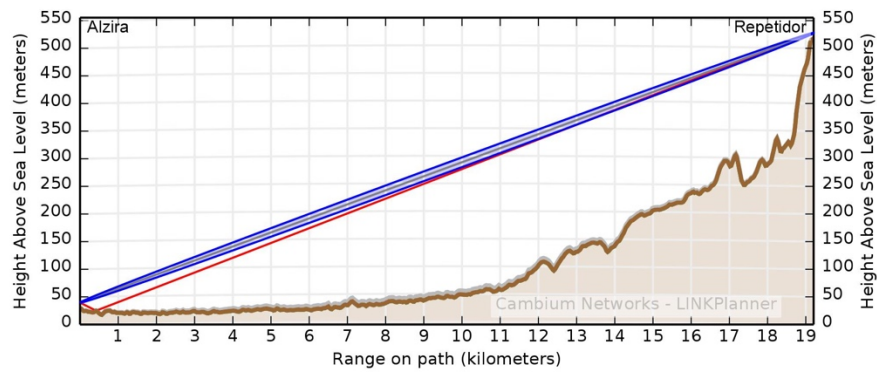
## Alzira to Repetidor



Equipment: Cambium Networks PTP11820C (Wide) - 1+0

Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 10 m

Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 10 m



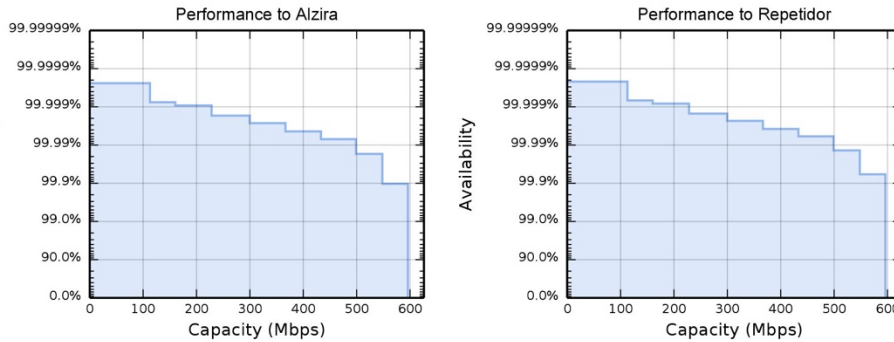
	Performance to Alzira	Performance to Repetidor
Mean IP	595.9 Mbps	595.9 Mbps
IP Availability	99.8967 % for 550.0 Mbps	99.9417 % for 550.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	19.206 km	System Gain Margin	38.28 dB
Band	11 GHz	Mean Aggregate Data Rate	1191.8 Mbps
Regulation	FCC (Rural)	Annual Link Availability	99.9997 %
Modulation	Adaptive	Annual Link Unavailability	1.3 mins/year
Bandwidth	80 MHz	Frame Size	1518 Bytes
Total Path Loss	139.44 dB	Prediction Model	ITU-R
System Gain	177.72 dB		



Project Alzira-Millares-DosAguas - 2. Alzira to Repetidor

Performance Charts

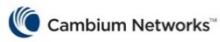


Climatic Factors, Losses and Standards

dN/dH not exceeded for 1% of time	-438.55 N units/km	Excess Path Loss	0.00 dB
Area roughness 110x110km	315.59 metre	Annual 2-way Availability	100.0000 %
Geoclimatic factor	2.32e-04	Annual 2-way Unavailability	3 secs/year
Fade Occurrence Factor (P0)	2.62e-03	Rain Availability	99.9998 %
Path inclination	25.41 mr	Rain Unavailability	1.3 mins/year
Value of K Exceeded for 99.99% (ke)	0.58	Atmospheric Gasses	ITU-R P.676-7, ITU-R P.835-4
Excess Path Loss at ke	0.00 dB	Diffraction Loss	ITU-R P.526-10
0.01% Rain rate	39.01 mm/hr	Propagation	ITU-R P.530-12
Free Space Path Loss	139.10 dB	Rain Rate	ITU-R P.837-5
Gaseous Absorption Loss	0.34 dB	Refractivity Index	ITU-R P.453-9
Profile Type	Line-of-Sight		

Bill of Materials

Part Number	Qty	Description
C110082B043	1	PTP 820C Radio 11WGHz,TR500,Ch1W6,Hi, 11185-11485MHz. Stock item, short lead time
C110082B044	1	PTP 820C Radio 11WGHz,TR500,Ch1W6,Lo,10695-10955MHz. Stock item, short lead time
EW-E4PT820C-VW	2	PTP820C Extended Warranty, 4 Additional Years
N000082L014	2	PTP 820 Glands_x5_KIT
N000082L016	1	PTP 820 CAT5E Outdoor 100m drum
N000082L017	4	PTP 820 Grounding Kit for CAT5e F/UTP 8mm cable. Add 2 additional kits per PoE Injector that is installed outdoors
N000082L022	2	PTP 820 PoE Injector all outdoor, redundant DC input, +24VDC support. Requires either a DC supply or AC/DC Power Adapter

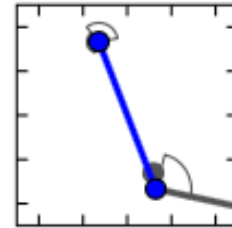


Project Alzira-Millares-DosAguas - 2. Alzira to Repetidor

Bill of Materials (continued)		
Part Number	Qty	Description
N000082L073	1	PTP 820 GBE_Connector_kit
N000082L079	2	PTP 820C Act.Key - Capacity 650M with ACM Enabled, per Tx Chan
N000082L116	2	PTP 820 GROUND CABLE FOR IDU and ODU
N110082D072	2	PTP 820 2' ANT,SP,11GHz,RFU-C TYPE&Std UBR100 - Andrew. Available in all regions
N110082L082	2	PTP 820C OMT KIT 10-11GHz
N110082L092	2	PTP 820 RFU-C 10_11GHz OMT Interface-Andrew



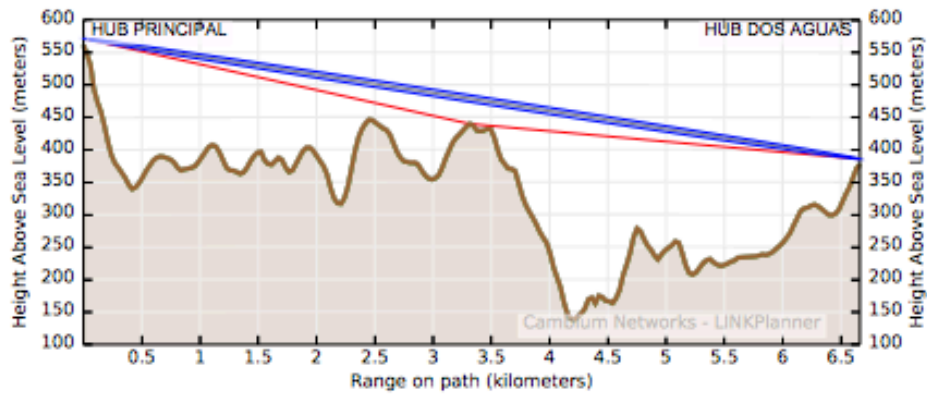
## HUB PRINCIPAL to HUB DOS AGUAS



Equipment: Cambium Networks PTP11820C (Narrow) - 1+0

Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 10 m

Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 8 m



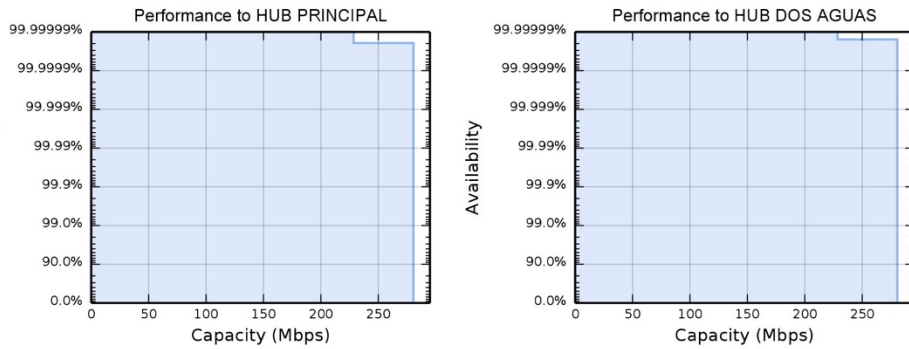
	Performance to HUB PRINCIPAL	Performance to HUB DOS AGUAS
Mean IP	280.6 Mbps	280.6 Mbps
IP Availability	100.0000 % for 255.0 Mbps	100.0000 % for 255.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	6.663 km	System Gain Margin	48.64 dB
Band	11 GHz	Mean Aggregate Data Rate	561.2 Mbps
Regulation	FCC (Rural)	Annual Link Availability	100.0000 %
Modulation	Adaptive	Annual Link Unavailability	0 secs/year
Bandwidth	80 MHz	Frame Size	1518 Bytes
Total Path Loss	130.02 dB	Prediction Model	ITU-R
System Gain	178.66 dB		



Project Alzira-Millares-DosAguas - 3. HUB PRINCIPAL to HUB DOS AGUAS

Performance Charts



Climatic Factors, Losses and Standards

dN/dH not exceeded for 1% of time	-396.09 N units/km	Excess Path Loss	0.00 dB
Area roughness 110x110km	325.43 metre	Annual 2-way Availability	100.0000 %
Geoclimatic factor	1.71e-04	Annual 2-way Unavailability	0 secs/year
Fade Occurrence Factor (P0)	3.01e-05	Rain Availability	100.0000 %
Path inclination	28.35 mr	Rain Unavailability	0 secs/year
Value of K Exceeded for 99.99% (ke)	0.40	Atmospheric Gasses	ITU-R P.676-7, ITU-R P.835-4
Excess Path Loss at ke	0.00 dB	Diffraction Loss	ITU-R P.526-10
0.01% Rain rate	36.38 mm/hr	Propagation	ITU-R P.530-12
Free Space Path Loss	129.91 dB	Rain Rate	ITU-R P.837-5
Gaseous Absorption Loss	0.11 dB	Refractivity Index	ITU-R P.453-9
Profile Type	Line-of-Sight		

Bill of Materials

Part Number	Qty	Description
C110082B029	1	PTP 820C Radio 11GHz,TR500,Ch1W6,Hi,11185-11485MHz
C110082B030	1	PTP 820C Radio 11GHz,TR500,Ch1W6,Lo,10695-10955MHz
EW-E4PT820C-WW	2	PTP820C Extended Warranty, 4 Additional Years
N000082L014	2	PTP 820 Glands_x5_KIT
N000082L016	1	PTP 820 CAT5E Outdoor 100m drum
N000082L017	4	PTP 820 Grounding Kit for CAT5e F/UTP 8mm cable. Add 2 additional kits per PoE Injector that is installed outdoors
N000082L022	2	PTP 820 PoE Injector all outdoor, redundant DC input, +24VDC support. Requires either a DC supply or AC/DC Power Adapter
N000082L073	1	PTP 820 GBE_Connector_kit

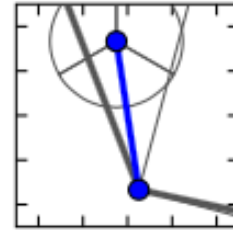


Project Alzira-Millares-DosAguas - 3. HUB PRINCIPAL to HUB DOS AGUAS

Bill of Materials (continued)		
Part Number	Qty	Description
N000082L116	2	PTP 820 GROUND CABLE FOR IDU and ODU
N000082L130	2	PTP 820C Act.Key - Capacity 300M with ACM Enabled, per Tx Chan
N110082D072	2	PTP 820 2' ANT,SP,11GHz,RFU-C TYPE&Std UBR100 - Andrew. Available in all regions
N110082L082	2	PTP 820C OMT KIT 10-11GHz
N110082L092	2	PTP 820 RFU-C 10_11GHz OMT Interface-Andrew



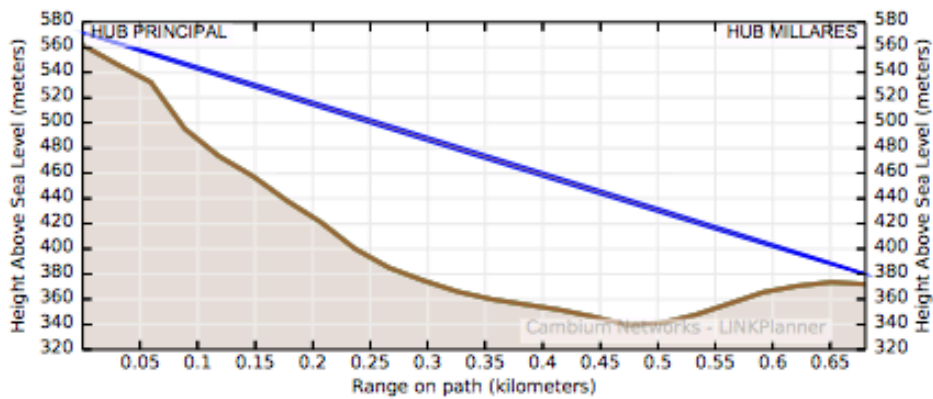
## HUB PRINCIPAL to HUB MILLARES



Equipment: Cambium Networks PTP11820C (Narrow) - 1+0

Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 10 m

Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 8 m



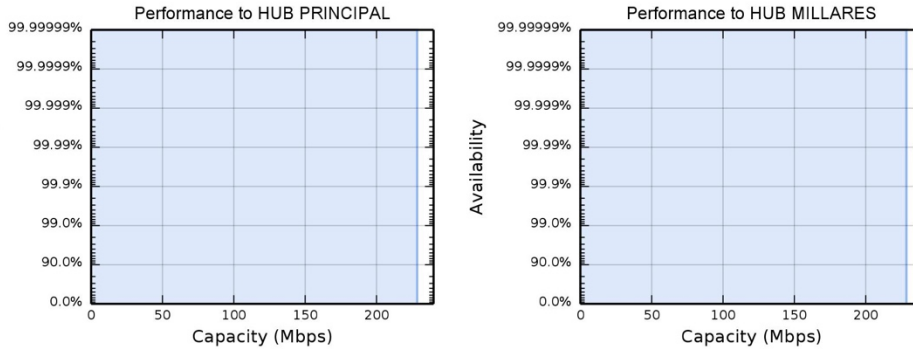
	Performance to HUB PRINCIPAL	Performance to HUB MILLARES
Mean IP	228.5 Mbps	228.5 Mbps
IP Availability	100.0000 % for 212.0 Mbps	100.0000 % for 212.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	0.681 km	System Gain Margin	53.62 dB
Band	11 GHz	Mean Aggregate Data Rate	457.0 Mbps
Regulation	FCC (Rural)	Annual Link Availability	100.0000 %
Modulation	Adaptive	Annual Link Unavailability	0 secs/year
Bandwidth	80 MHz	Frame Size	1518 Bytes
Total Path Loss	110.10 dB	Prediction Model	ITU-R
System Gain	163.72 dB		



Project Alzira-Millares-DosAguas - 4. HUB PRINCIPAL to HUB MILLARES

Performance Charts



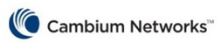
Climatic Factors, Losses and Standards

dN/dH not exceeded for 1% of time	-399.86 N units/km	Excess Path Loss	0.00 dB
Area roughness 110x110km	324.50 metre	Annual 2-way Availability	100.0000 %
Geoclimatic factor	1.76e-04	Annual 2-way Unavailability	0 secs/year
Fade Occurrence Factor (P0)	2.31e-09	Rain Availability	100.0000 %
Path inclination	286.45 mr	Rain Unavailability	0 secs/year
Value of K Exceeded for 99.99% (ke)	0.40	Atmospheric Gasses	ITU-R P.676-7, ITU-R P.835-4
Excess Path Loss at ke	0.00 dB	Diffraction Loss	ITU-R P.526-10
0.01% Rain rate	36.46 mm/hr	Propagation	ITU-R P.530-12
Free Space Path Loss	110.09 dB	Rain Rate	ITU-R P.837-5
Gaseous Absorption Loss	0.01 dB	Refractivity Index	ITU-R P.453-9
Profile Type	Line-of-Sight		

Bill of Materials

Part Number	Qty	Description
C110082B029	1	PTP 820C Radio 11GHz,TR500,Ch1W6,Hi,11185-11485MHz
C110082B030	1	PTP 820C Radio 11GHz,TR500,Ch1W6,Lo,10695-10955MHz
EW-E4PT820C-VW	2	PTP820C Extended Warranty, 4 Additional Years
N000082L014	2	PTP 820 Glands_x5_KIT
N000082L016	1	PTP 820 CAT5E Outdoor 100m drum
N000082L017	4	PTP 820 Grounding Kit for CAT5e F/UTP 8mm cable. Add 2 additional kits per PoE Injector that is installed outdoors
N000082L022	2	PTP 820 PoE Injector all outdoor, redundant DC input, +24VDC support. Requires either a DC supply or AC/DC Power Adapter
N000082L073	1	PTP 820 GBE_Connector_kit



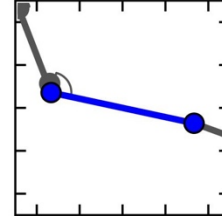


Project Alzira-Millares-DosAguas - 4. HUB PRINCIPAL to HUB MILLARES

Bill of Materials (continued)		
Part Number	Qty	Description
N000082L116	2	PTP 820 GROUND CABLE FOR IDU and ODU
N000082L130	2	PTP 820C Act.Key - Capacity 300M with ACM Enabled, per Tx Chan
N110082D072	2	PTP 820 2' ANT,SP,11GHz,RFU-C TYPE&Std UBR100 - Andrew. Available in all regions
N110082L082	2	PTP 820C OMT KIT 10-11GHz
N110082L092	2	PTP 820 RFU-C 10_11GHz OMT Interface-Andrew



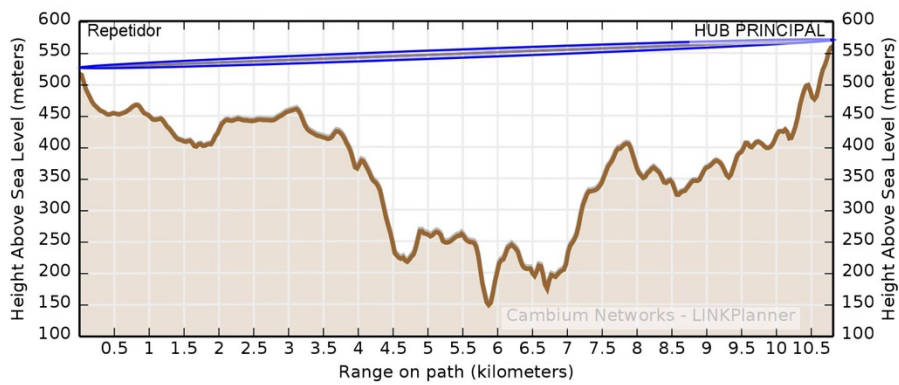
## Repetidor to HUB PRINCIPAL



Equipment: Cambium Networks PTP11820C (Wide) - 1+0

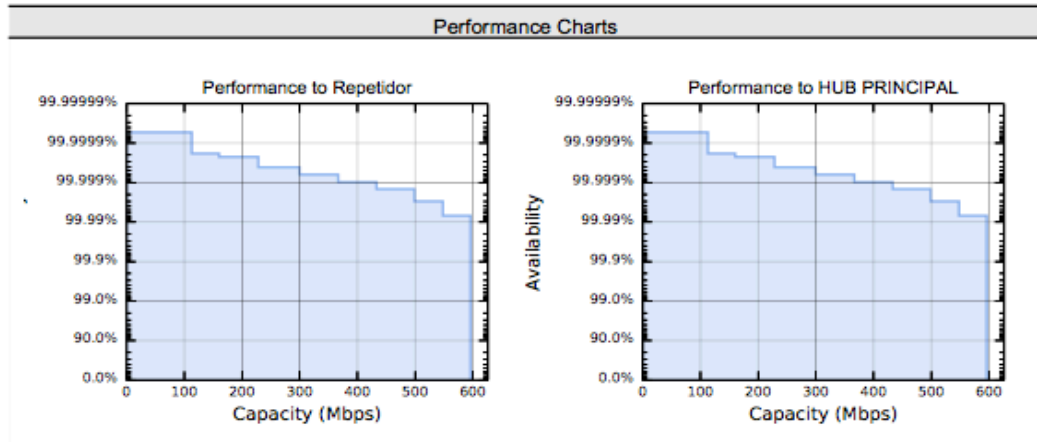
Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 10 m

Cambium Networks 2ft Single Pol (Global)  
N110082D072 - Direct @ 10 m



	Performance to Repetidor	Performance to HUB PRINCIPAL
Mean IP	596.0 Mbps	596.0 Mbps
IP Availability	99.9965 % for 508.0 Mbps	99.9971 % for 508.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	10.814 km	System Gain Margin	43.37 dB
Band	11 GHz	Mean Aggregate Data Rate	1191.9 Mbps
Regulation	FCC (Rural)	Annual Link Availability	99.9999 %
Modulation	Adaptive	Annual Link Unavailability	19 secs/year
Bandwidth	80 MHz	Frame Size	1518 Bytes
Total Path Loss	134.29 dB	Prediction Model	ITU-R
System Gain	177.66 dB		



Climatic Factors, Losses and Standards			
dN/dH not exceeded for 1% of time	-410.09 N units/km	Excess Path Loss	0.00 dB
Area roughness 110x110km	324.55 metre	Annual 2-way Availability	100.0000 %
Geoclimatic factor	1.89e-04	Annual 2-way Unavailability	0 secs/year
Fade Occurrence Factor (P0)	6.45e-04	Rain Availability	99.9999 %
Path inclination	4.08 mr	Rain Unavailability	17 secs/year
Value of K Exceeded for 99.99% (ke)	0.42	Atmospheric Gasses	ITU-R P.676-7, ITU-R P.835-4
Excess Path Loss at ke	0.00 dB	Diffraction Loss	ITU-R P.526-10
0.01% Rain rate	37.14 mm/hr	Propagation	ITU-R P.530-12
Free Space Path Loss	134.11 dB	Rain Rate	ITU-R P.837-5
Gaseous Absorption Loss	0.18 dB	Refractivity Index	ITU-R P.453-9
Profile Type	Line-of-Sight		

Bill of Materials		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	2	Unspecified 11 GHz ODU (invalid TX frequency selection). Please select a TX frequency
EW-E4PT820C-WW	2	PTP820C Extended Warranty, 4 Additional Years
N000082L014	2	PTP 820 Glands_x5_KIT
N000082L016	1	PTP 820 CAT5E Outdoor 100m drum
N000082L017	4	PTP 820 Grounding Kit for CAT5e F/UTP 8mm cable. Add 2 additional kits per PoE Injector that is installed outdoors
N000082L022	2	PTP 820 PoE Injector all outdoor, redundant DC input, +24VDC support. Requires either a DC supply or AC/DC Power Adapter
N000082L073	1	PTP 820 GBE_Connector_kit



Project Alzira-Millares-DosAguas - 5. Repetidor to HUB PRINCIPAL

Bill of Materials (continued)		
Part Number	Qty	Description
N000082L073	1	PTP 820 GBE_Connector_kit
N000082L079	2	PTP 820C Act.Key - Capacity 650M with ACM Enabled, per Tx Chan
N000082L116	2	PTP 820 GROUND CABLE FOR IDU and ODU
N110082D072	2	PTP 820 2' ANT,SP,11GHz,RFU-C TYPE&Std UBR100 - Andrew. Available in all regions
N110082L082	2	PTP 820C OMT KIT 10-11GHz
N110082L092	2	PTP 820 RFU-C 10_11GHz OMT Interface-Andrew



## 6. HUB DOS AGUAS

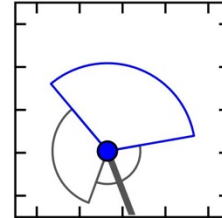
Hub Summary	
Hub Name	HUB DOS AGUAS
Latitude	39.28762N
Longitude	000.80029W
Number of Access Points	3
Number of Connected Subscribers	20
Total Predicted DL Throughput	63.54 Mbps
Total Predicted UL Throughput	64.29 Mbps
Total Throughput	127.83 Mbps

Access Point Name	Product	Antenna Azimuth	Beamwidth	Band	Max Range	Connected Subscribers	Total Predicted Throughput
HUB DOS AGUAS : 1	PMP450i	20.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	11	57.78 Mbps
HUB DOS AGUAS : 2	PMP450i	140.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	5	35.02 Mbps
HUB DOS AGUAS : 3	PMP450i	260.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	4	35.02 Mbps

Bill of Materials : PMP Network		
Part Number	Qty	Description
01010419001	6	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	3	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	3	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	3	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	3	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the network level



## HUB DOS AGUAS : 1



Access Point Summary	
AP Name	HUB DOS AGUAS : 1
Equipment Type	PMP450i (running Release 16.0)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna
Modeled Beamwidth	120°
Antenna Azimuth	20.00° from True North 19.72° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	11
Max Range	1 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5795 MHz, 5815 to 5855 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
Total Predicted DL Throughput	28.72 Mbps
Total Predicted UL Throughput	29.06 Mbps
Total Predicted Throughput	57.78 Mbps
Downlink Data	50 %

### Subscriber Module Summary

Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
DA.Hogar1	39.29042N	000.79979W	PMP450i	0.314 km	23.0 dBi
DA.Hogar2	39.28987N	000.79316W	PMP450i	0.664 km	23.0 dBi
DA.Hogar3	39.28941N	000.80190W	PMP450i	0.242 km	23.0 dBi
DA.Hogar4	39.29090N	000.79842W	PMP450i	0.398 km	23.0 dBi
DA.Hogar5	39.29196N	000.80233W	PMP450i	0.513 km	23.0 dBi
DA.Hogar6	39.28992N	000.79676W	PMP450i	0.397 km	23.0 dBi
DA.Hogar7	39.28851N	000.79992W	PMP450i	0.104 km	23.0 dBi
DA.Hogar8	39.28819N	000.80061W	PMP450i	0.069 km	23.0 dBi
DA.Hogar9	39.29040N	000.80243W	PMP450i	0.360 km	23.0 dBi
DA.Hogar10	39.29144N	000.79758W	PMP450i	0.484 km	23.0 dBi
DA.Hogar11	39.28921N	000.79214W	PMP450i	0.725 km	23.0 dBi



Project Alzira-Millares-DosAguas - 7. HUB DOS AGUAS : 1

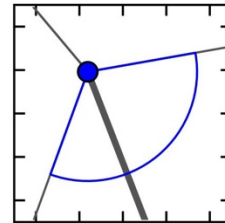
Bill of Materials : Access Point		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the parent level

Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	11	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	11	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	11	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	11	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	11	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	11	Tilt Bracket Assembly

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
x8 (256QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x6 (64QAM MIMO-B)	21.01	4	36.4	10.44	4	36.4	10.57
x4 (16QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (QPSK MIMO-B)	10.51	2	18.2	5.22	2	18.2	5.28
x4 (256QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x3 (64QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (16QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x1 (QPSK MIMO-A)	26.27	5	45.5	13.06	5	45.5	13.21



## HUB DOS AGUAS : 2



Access Point Summary	
AP Name	HUB DOS AGUAS : 2
Equipment Type	PMP450i (running Release 16.0)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna
Modeled Beamwidth	120°
Antenna Azimuth	140.00° from True North 139.72° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	5
Max Range	1 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5795 MHz, 5815 to 5855 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
Total Predicted DL Throughput	17.41 Mbps
Total Predicted UL Throughput	17.61 Mbps
Total Predicted Throughput	35.02 Mbps
Downlink Data	50 %

### Subscriber Module Summary

Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
DA.Hogar12	39.28696N	000.79894W	PMP450i	0.138 km	23.0 dBi
DA.Hogar13	39.28778N	000.79871W	PMP450i	0.137 km	23.0 dBi
DA.Hogar14	39.28611N	000.79909W	PMP450i	0.197 km	23.0 dBi
DA.Hogar15	39.28700N	000.79986W	PMP450i	0.078 km	23.0 dBi
DA.Hogar16	39.28750N	000.79962W	PMP450i	0.059 km	23.0 dBi





Project Alzira-Millares-DosAguas - 8. HUB DOS AGUAS : 2

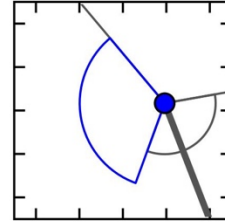
Bill of Materials : Access Point		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the parent level

Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	5	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	5	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	5	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	5	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	5	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	5	Tilt Bracket Assembly

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
x8 (256QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x6 (64QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (16QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (QPSK MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (256QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x3 (64QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (16QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x1 (QPSK MIMO-A)	35.02	5	100.0	17.41	5	100.0	17.61



## HUB DOS AGUAS : 3



Access Point Summary	
AP Name	HUB DOS AGUAS : 3
Equipment Type	PMP450i (running Release 16.0)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna
Modeled Beamwidth	120°
Antenna Azimuth	260.00° from True North 259.72° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	4
Max Range	1 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5795 MHz, 5815 to 5855 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
Total Predicted DL Throughput	17.41 Mbps
Total Predicted UL Throughput	17.61 Mbps
Total Predicted Throughput	35.02 Mbps
Downlink Data	50 %

### Subscriber Module Summary

Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
DA.Hogar17	39.28776N	000.80164W	PMP450i	0.118 km	23.0 dBi
DA.Hogar18	39.28723N	000.80061W	PMP450i	0.051 km	23.0 dBi
DA.Hogar19	39.29002N	000.80323W	PMP450i	0.368 km	23.0 dBi
DA.Hogar20	39.28994N	000.80500W	PMP450i	0.481 km	23.0 dBi

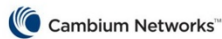


Project Alzira-Millares-DosAguas - 9. HUB DOS AGUAS : 3

Bill of Materials : Access Point		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the parent level

Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	4	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	4	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	4	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	4	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	4	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	4	Tilt Bracket Assembly

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
x8 (256QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x6 (64QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (16QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (QPSK MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (256QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x3 (64QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (16QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x1 (QPSK MIMO-A)	35.02	4	100.0	17.41	4	100.0	17.61

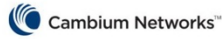


## 10. HUB MILLARES

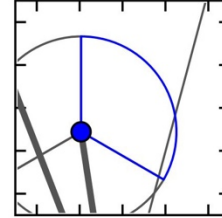
Hub Summary	
Hub Name	HUB MILLARES
Latitude	39.23773N
Longitude	000.77355W
Number of Access Points	3
Number of Connected Subscribers	17
Total Predicted DL Throughput	55.13 Mbps
Total Predicted UL Throughput	55.77 Mbps
Total Throughput	110.90 Mbps

Access Point Name	Product	Antenna Azimuth	Beamwidth	Band	Max Range	Connected Subscribers	Total Predicted Throughput
HUB MILLARES : 1	PMP450i	60.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	7	40.86 Mbps
HUB MILLARES : 2	PMP450i	180.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	4	35.02 Mbps
HUB MILLARES : 3	PMP450i	300.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	6	35.02 Mbps

Bill of Materials : PMP Network		
Part Number	Qty	Description
01010419001	6	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	3	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	3	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	3	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	3	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the network level



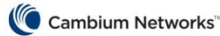
## HUB MILLARES : 1



Access Point Summary	
AP Name	HUB MILLARES : 1
Equipment Type	PMP450i (running Release 16.0)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna
Modeled Beamwidth	120°
Antenna Azimuth	60.00° from True North 59.71° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	7
Max Range	1 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5795 MHz, 5815 to 5855 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
Total Predicted DL Throughput	20.31 Mbps
Total Predicted UL Throughput	20.55 Mbps
Total Predicted Throughput	40.86 Mbps
Downlink Data	50 %

### Subscriber Module Summary

Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
M.Hogar1	39.23937N	000.77342W	PMP450i	0.182 km	23.0 dBi
M.Hogar2	39.23694N	000.77093W	PMP450i	0.243 km	23.0 dBi
M.Hogar3	39.23809N	000.77299W	PMP450i	0.063 km	23.0 dBi
M.Hogar4	39.23741N	000.77245W	PMP450i	0.101 km	23.0 dBi
M.Hogar5	39.23861N	000.77283W	PMP450i	0.116 km	23.0 dBi
M.Hogar6	39.23760N	000.77131W	PMP450i	0.194 km	23.0 dBi
M.Hogar7	39.23792N	000.77205W	PMP450i	0.131 km	23.0 dBi



Project Alzira-Millares-DosAguas - 11. HUB MILLARES : 1

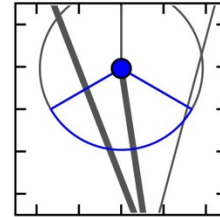
Bill of Materials : Access Point		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the parent level

Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	7	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	7	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	7	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	7	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	7	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	7	Tilt Bracket Assembly

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
x8 (256QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x6 (64QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (16QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (QPSK MIMO-B)	11.67	2	28.6	5.80	2	28.6	5.87
x4 (256QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x3 (64QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (16QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x1 (QPSK MIMO-A)	29.18	5	71.4	14.51	5	71.4	14.68



## HUB MILLARES : 2



Access Point Summary	
AP Name	HUB MILLARES : 2
Equipment Type	PMP450i (running Release 16.0)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna
Modeled Beamwidth	120°
Antenna Azimuth	180.00° from True North 179.71° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	4
Max Range	1 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5795 MHz, 5815 to 5855 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
Total Predicted DL Throughput	17.41 Mbps
Total Predicted UL Throughput	17.61 Mbps
Total Predicted Throughput	35.02 Mbps
Downlink Data	50 %

### Subscriber Module Summary

Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
M.Hogar8	39.23664N	000.77324W	PMP450i	0.124 km	23.0 dBi
M.Hogar9	39.23629N	000.77487W	PMP450i	0.196 km	23.0 dBi
M.Hogar10	39.23702N	000.77393W	PMP450i	0.085 km	23.0 dBi
M.Hogar11	39.23675N	000.77236W	PMP450i	0.150 km	23.0 dBi



Project Alzira-Millares-DosAguas - 12. HUB MILLARES : 2

Bill of Materials : Access Point		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the parent level

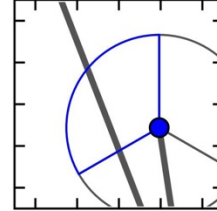
Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	4	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	4	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	4	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	4	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	4	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	4	Tilt Bracket Assembly

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
x8 (256QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x6 (64QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (16QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (QPSK MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (256QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x3 (64QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (16QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x1 (QPSK MIMO-A)	35.02	4	100.0	17.41	4	100.0	17.61





### HUB MILLARES : 3



Access Point Summary	
AP Name	HUB MILLARES : 3
Equipment Type	PMP450i (running Release 16.0)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna
Modeled Beamwidth	120°
Antenna Azimuth	300.00° from True North 299.71° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	6
Max Range	1 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5795 MHz, 5815 to 5855 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
Total Predicted DL Throughput	17.41 Mbps
Total Predicted UL Throughput	17.61 Mbps
Total Predicted Throughput	35.02 Mbps
Downlink Data	50 %

#### Subscriber Module Summary

Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
M.Hogar12	39.23773N	000.77626W	PMP450i	0.234 km	23.0 dBi
M.Hogar13	39.23866N	000.77534W	PMP450i	0.186 km	23.0 dBi
M.Hogar14	39.23702N	000.77537W	PMP450i	0.176 km	23.0 dBi
M.Hogar15	39.23811N	000.77397W	PMP450i	0.056 km	23.0 dBi
M.Hogar16	39.23815N	000.77573W	PMP450i	0.194 km	23.0 dBi
M.Hogar17	39.23951N	000.77507W	PMP450i	0.237 km	23.0 dBi

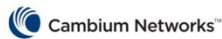


Project Alzira-Millares-DosAguas - 13. HUB MILLARES : 3

Bill of Materials : Access Point		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the parent level

Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	6	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	6	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	6	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	6	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	6	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	6	Tilt Bracket Assembly

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
x8 (256QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x6 (64QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (16QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (QPSK MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (256QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x3 (64QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (16QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x1 (QPSK MIMO-A)	35.02	6	100.0	17.41	6	100.0	17.61

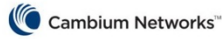


## 14. HUB PRINCIPAL

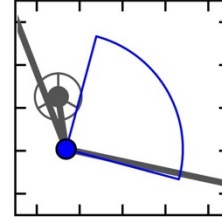
Hub Summary	
Hub Name	HUB PRINCIPAL
Latitude	39.23167N
Longitude	000.77236W
Number of Access Points	1
Number of Connected Subscribers	3
Total Predicted DL Throughput	17.41 Mbps
Total Predicted UL Throughput	17.61 Mbps
Total Throughput	35.02 Mbps

Access Point Name	Product	Antenna Azimuth	Beamwidth	Band	Max Range	Connected Subscribers	Total Predicted Throughput
HUB PRINCIPAL : 1	PMP450i	60.0°	90.0°	5.8 GHz	1 miles	3	35.02 Mbps

Bill of Materials : PMP Network		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the network level



## HUB PRINCIPAL : 1



Access Point Summary	
AP Name	HUB PRINCIPAL : 1
Equipment Type	PMP450i (running Release 16.0)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna
Modeled Beamwidth	90°
Antenna Azimuth	60.00° from True North 59.71° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	3
Max Range	2 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5795 MHz, 5815 to 5855 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
Total Predicted DL Throughput	17.41 Mbps
Total Predicted UL Throughput	17.61 Mbps
Total Predicted Throughput	35.02 Mbps
Downlink Data	50 %

### Subscriber Module Summary

Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
M.Hogar18	39.23285N	000.76286W	PMP450i	0.831 km	23.0 dBi
M.Hogar19	39.23999N	000.76628W	PMP450i	1.062 km	23.0 dBi
M.Hogar20	39.23615N	000.76845W	PMP450i	0.601 km	23.0 dBi



Project Alzira-Millares-DosAguas - 15. HUB PRINCIPAL : 1

Bill of Materials : Access Point		
Part Number	Qty	Description
01010419001	2	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
C000065L007	1	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050045A007	1	5 GHz PMP 450i Integrated Access Point, 90 degree (EU). Requires suffix "B" or newer
EW-E4PM45AP-WW	1	PMP450/450i Access Point Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	1	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
WB3176	1	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP). Total cable requirements are aggregated at the parent level

Bill of Materials : Subscriber Modules		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	3	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Materials options)
C000000L033	3	Gigabit Surge Suppressor (56V)
C050045C002	3	5 GHz PMP 450i SM, Integrated High Gain Antenna
EW-E4PM4ISM-WW	3	PMP450i Subscriber Module Extended Warranty, 4 Additional Years
N000000L034	3	POWER SUPPLY, 30W, 56V - Gbps support
N000045L002	3	Tilt Bracket Assembly

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
x8 (256QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x6 (64QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (16QAM MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (QPSK MIMO-B)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x4 (256QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x3 (64QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x2 (16QAM MIMO-A)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
x1 (QPSK MIMO-A)	35.02	3	100.0	17.41	3	100.0	17.61



## Disclaimer

Cambium Networks assumes no responsibility for the accuracy of the information produced by the Cambium LINKPlanner. Reference to products or services which are not provided by Cambium Networks is for information purposes only and constitutes neither an endorsement nor a recommendation. All information provided by the Cambium LINKPlanner is provided without warranty of any kind, either expressed or implied.

All product or service names are the property of their respective owners. © Cambium Networks. 2019

## Anexo II – Especificaciones de los equipos



# PTP 820C High Power Licensed Microwave Radio

PTP 820C HP SPECIFICATION SHEET



### All-Outdoor / Multi-Core Specifications

#### RADIO

- 6-11 GHz
- 1+0, 2+0 SP/DP, 2+0 XPIC
- Field Changeable Diplexers

#### Radio Features

- Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (up to 2+0)
- Protection: 1+1/2+2 HSB
- QPSK to 2048 QAM w/ACM

#### ETHERNET

##### Ethernet Interfaces

- Traffic Interfaces – 1 x 10/100/1000Base-T (RJ-45) and 1x1000base-X (SFP) or 10/100/1000 Base-T (Electrical SFP)
- Management Interface - 1 x 10/100 Base-T (RJ-45)
- Optical SFP Types - Optical 1000Base-LX (1310 nm) or SX (850nm)  
Note: SFP devices must be of industrial grade (-40°C to +85°C)

##### Ethernet Features

- MTU – 9600 Bytes
- Quality of Service
  - Multiple Classification criteria (VLAN ID, p-bits, IPv4, DSCP, IPv6 TC, MPLS EXP)
  - 8 priority queues
  - Deep buffering (configurable up to 64 Mbit per queue)
  - WRED
  - P-bit marking/remarking
- 4K VLANs
- VLAN add/remove/translate
- Frame Cut Through – controlled latency and PDV for delay sensitive applications

- Header De-Duplication – Capacity boosting by eliminating inefficiency in all layers (L2, MPLS, L3, L4, Tunneling – GTP for LTE, GRE)
- Adaptive Bandwidth Notification (ABN)
- Ethernet OAM – ITU-T Y.1731

#### SYNCHRONIZATION

##### Synchronization Distribution

- Sync Distribution over any traffic interface (GE/FE)
- Sync-E (ITU-T G.8261, G.8262)
- SSM/ESMC Support for ring/mesh applications (ITU-T G.8264)
- Sync-E Regenerator mode, providing PRC grade (ITU-T G.811) performance for smart pipe applications.

##### IEEE-1588

- Optimized Transport for reduced PDV
- IEEE-1588 TC

#### STANDARD

##### Supported Ethernet Standards

- 10/100/1000base-T/X (IEEE 802.3)
- Ethernet VLANs (IEEE 802.3ac)
- Virtual LAN (VLAN, IEEE 802.1Q)
- Class of service (IEEE 802.1p)
- Provider bridges (Q-in-Q – IEEE 802.1ad)
- Link aggregation (IEEE 802.3ad)
- Auto MDI/MDIX for 1000baseT
- RFC 1349: IPv4 TOS
- RFC 2474: IPv4 DSCP
- RFC 2460: IPv6 Traffic Classes

##### Security

- AES 256-bit Encryption
- Secured protocols (HTTPS, SNMPV3, SSH, SFTP)

- Radius authentication and authorization

##### Standards Compliance

- Radio Spectral Efficiency: EN 302 217-2-2
- EMC: EN 301 489-1, EN 301 489-4, Class B (Europe), FCC 47 CFR, part 15, class B (US), ICES-003, Class B (Canada), TEC/EMI/TEL-001/01, Class B (India)
- Surge: EN61000-4-5, Class 4 (for PWR and ETH1 ports)
- Safety: EN 60950-1, IEC 60950-1, UL 60950-1, CSA-C22.2 No.60950-1, EN 60950-22, UL 60950-22, CSAC22.2.60950-22
- Ingress Protection: IP66-compliant
- Storage: ETSI EN 300 019-1-1 Class 1.2
- Transportation: ETSI EN 300 019-1-2 Class 2

#### TECHNICAL SPECIFICATION

##### Mechanical Specifications

- Dimensions: 315mm(H), 284mm(W), 107mm(D), 6.8kg
- Pole Diameter Range (for Remote Mount Installation): 88.9 mm – 114.3 mm

##### Environmental Specifications

- -33°C to +55°C (-45°C to +60°C extended)

##### Power Input Specifications

- Standard Input: -48 VDC
- DC Input range: -40 to -60 VDC
- Separate DC feed

##### Power Consumption Specifications

- Maximum Power Consumption (Multi-Core Operation): 135W
- Maximum Power Consumption (1+0 Operation): 81W

PTP 820C HP SPECIFICATION SHEET

## Specifications

### TRANSMIT POWER

Transmit Power (dBm)	Frequency (GHz)			
	6	7	8	11
QPSK	35	33	31	32
8 PSK	35	33	31	32
16 QAM	35	33	31	32
32 QAM	35	33	31	32
64 QAM	35	33	31	32
128 QAM	35	33	31	32
256 QAM	34	32	30	31
512 QAM	33	32	30	30
1024 QAM	31	31	30	29
2048 QAM	31	31	29	29

### Diplexer Unit Typical Losses

Frequency	6-8 GHz	11 GHz
Losses (dB)	1.3	0.7

### RECEIVE SENSITIVITY

Modulation	Channel Spacing	Frequency (GHz)			
		6	7	8	11
QPSK	5 MHz	-96.5	-96.0	-96.0	-96.5
16 QAM		-90.0	-89.0	-89.0	-89.5
32 QAM		-86.5	-85.5	-85.5	-86.0
64 QAM		-83.0	-82.5	-82.5	-83.0
128 QAM		-79.5	-79.0	-79.0	-79.5
256 QAM		-76.5	-75.5	-75.5	-76.5
QPSK	10 MHz	-92.0	-91.5	-91.5	-92.0
8 PSK		-87.0	-86.0	-86.0	-87.0
16 QAM		-85.5	-85.0	-85.0	-85.5
32 QAM		-82.0	-81.5	-81.5	-82.0
64 QAM		-79.0	-78.5	-78.5	-79.0
128 QAM		-75.5	-75.0	-75.0	-75.5
256 QAM		-72.5	-72.0	-72.0	-72.5
512 QAM		-70.0	-69.5	-69.5	-70.0
1024 QAM (strong FEC)		-67.0	-66.5	-66.5	-67.0
1024 QAM (light FEC)		-66.5	-65.5	-65.5	-66.5
QPSK	20 MHz	-89.0	-88.5	-88.5	-89.0
8 PSK		-84.0	-83.5	-83.5	-84.0
16 QAM		-82.5	-82.0	-82.0	-82.5
32 QAM		-79.0	-78.5	-78.5	-79.0
64 QAM		-76.0	-75.0	-75.0	-76.0
128 QAM		-73.0	-72.0	-72.0	-73.0
256 QAM		-70.0	-69.5	-69.5	-70.0
512 QAM		-67.5	-66.5	-66.5	-67.5
1024 QAM (strong FEC)		-64.5	-63.5	-63.5	-64.5
1024 QAM (light FEC)		-63.5	-63.0	-63.0	-63.5
2048 QAM		-60.0	-59.5	-59.5	-60.0



**PTP 820C HP SPECIFICATION SHEET**

Modulation	Channel Spacing	6	7	8	11	
QPSK	25 MHz	-87.5	-86.5	-86.5	-87.0	
8 PSK		-82.5	-82.0	-82.0	-82.5	
16 QAM		-80.5	-80.0	-80.0	-80.5	
32 QAM		-77.5	-77.0	-77.0	-77.5	
64 QAM		-74.5	-74.0	-74.0	-74.5	
128 QAM		-71.5	-71.0	-71.0	-71.5	
256 QAM		-68.5	-67.5	-67.5	-68.5	
512 QAM		-66.0	-65.0	-65.0	-66.0	
1024 QAM (strong FEC)		-63.0	-62.5	-62.5	-63.0	
1024 QAM (light FEC)		-62.5	-61.5	-61.5	-62.5	
2048 QAM		-58.5	-58.0	-58.0	-58.5	
QPSK		30 MHz	-87.5	-87.0	-87.0	-87.5
8 PSK			-82.5	-81.5	-81.5	-82.5
16 QAM			-81.0	-80.0	-80.0	-80.5
32 QAM	-77.0		-76.5	-76.5	-77.0	
64 QAM	-74.5		-73.5	-73.5	-74.0	
128 QAM	-71.0		-70.5	-70.5	-71.0	
256 QAM	-68.0		-67.5	-67.5	-68.0	
512 QAM	-66.0		-65.5	-65.5	-66.0	
1024 QAM (strong FEC)	-63.0		-62.0	-62.0	-62.5	
1024 QAM (light FEC)	-62.0		-61.0	-61.0	-62.0	
2048 QAM	-58.0		-57.5	-57.5	-58.0	
QPSK	40 MHz		-86.0	-85.5	-85.5	-86.0
8 PSK			-81.0	-80.5	-80.5	-81.0
16 QAM			-79.5	-79.0	-79.0	-79.5
32 QAM		-76.0	-75.0	-75.0	-75.5	
64 QAM		-73.0	-72.0	-72.0	-73.0	
128 QAM		-70.0	-69.0	-69.0	-70.0	
256 QAM		-67.0	-66.0	-66.0	-66.5	
512 QAM		-64.0	-63.5	-63.5	-64.0	
1024 QAM (strong FEC)		-61.5	-61.0	-61.0	-61.5	
1024 QAM (light FEC)		-60.5	-60.0	-60.0	-60.5	
2048 QAM		-58.0	-57.0	-57.0	-58.0	
QPSK		50 MHz	-85.5	-84.5	-84.5	-85.0
8 PSK			-80.0	-79.5	-79.5	-80.0
16 QAM			-78.5	-77.5	-77.5	-78.0
32 QAM	-74.5		-74.0	-74.0	-74.5	
64 QAM	-71.5		-70.5	-70.5	-71.5	
128 QAM	-68.5		-68.0	-68.0	-68.5	
256 QAM	-66.0		-65.0	-65.0	-66.0	
512 QAM	-63.5		-63.0	-63.0	-63.5	
1024 QAM (strong FEC)	-60.0		-59.5	-59.5	-60.0	
1024 QAM (light FEC)	-59.0		-58.0	-58.0	-59.0	
2048 QAM	-57.0		-56.0	-56.0	-56.5	
QPSK	60 MHz		-84.5	-84.0	-84.0	-84.5
8 PSK			-80.0	-79.0	-79.0	-79.5
16 QAM			-77.5	-77.0	-77.0	-77.5
32 QAM		-74.0	-73.0	-73.0	-73.5	
64 QAM		-70.5	-70.0	-70.0	-70.5	
128 QAM		-68.0	-67.0	-67.0	-67.5	
256 QAM		-64.5	-64.0	-64.0	-64.5	
512 QAM		-62.5	-62.0	-62.0	-62.5	
1024 QAM (strong FEC)		-59.0	-58.5	-58.5	-59.0	
1024 QAM (light FEC)		-58.0	-57.5	-57.5	-58.0	
2048 QAM		-55.5	-54.5	-54.5	-55.0	

**PTP 820C HP SPECIFICATION SHEET**

Modulation	Channel Spacing	6	7	8	11
		80 MHz			
QPSK		N/A	N/A	N/A	-83.5
8 PSK		N/A	N/A	N/A	-78.0
16 QAM		N/A	N/A	N/A	-76.5
32 QAM		N/A	N/A	N/A	-73.0
64 QAM		N/A	N/A	N/A	-70.0
128 QAM		N/A	N/A	N/A	-67.0
256 QAM		N/A	N/A	N/A	-64.5
512 QAM		N/A	N/A	N/A	-61.5
1024 QAM (strong FEC)		N/A	N/A	N/A	-58.5
1024 QAM (light FEC)		N/A	N/A	N/A	-58.0

**ETHERNET THROUGHPUT**

Modulation	Channel Size	Ethernet Throughput (Mbps)			Channel Size	Ethernet Throughput (Mbps)		
		No Compression	L2 Compression	Multi-Layer Compression		No Compression	L2 Compression	Multi-Layer Compression
QPSK	5 MHz	3	3-4	4-11	10 MHz	12	12-14	13-40
8 PSK		N/A	N/A	N/A		19	19-21	20-61
16 QAM		8	8-9	9-26		26	26-30	27-83
32 QAM		11	11-13	12-36		34	35-39	36-111
64 QAM		14	14-16	15-45		42	43-48	45-137
128 QAM		17	17-19	18-54		51	51-58	53-164
256 QAM		19	20-22	20-62		58	59-67	61-188
512 QAM		N/A	N/A	N/A		64	65-73	67-206
1024 QAM (strong FEC)		N/A	N/A	N/A		67	68-77	71-216
1024 QAM (light FEC)		N/A	N/A	N/A		72	72-82	75-230
QPSK	20 MHz	27	28-31	29-88	25 MHz	35	35-40	37-112
8 PSK		41	41-47	43-132		52	53-60	55-168
16 QAM		56	57-64	59-180		71	72-81	75-229
32 QAM		74	75-85	78-238		94	95-107	99-302
64 QAM		91	92-104	96-293		116	117-132	121-372
128 QAM		110	111-126	116-354		139	141-159	147-448
256 QAM		125	126-142	131-401		159	160-181	167-511
512 QAM		136	137-156	143-438		175	177-200	184-564
1024 QAM (strong FEC)		145	146-165	152-466		186	188-213	196-599
1024 QAM (light FEC)		154	155-176	162-495		198	199-226	208-636
2048 QAM	164	165-187	172-528	212	214-242	223-682		
QPSK	30 MHz	42	42-48	44-135	40 MHz	57	57-65	60-183
8 PSK		61	62-70	65-197		85	86-97	89-273
16 QAM		86	87-98	90-277		116	117-132	121-372
32 QAM		113	114-129	119-364		152	154-174	160-490
64 QAM		139	140-159	147-449		187	189-214	197-602
128 QAM		168	169-192	176-540		226	228-258	238-728
256 QAM		193	195-220	203-621		243	245-278	256-782
512 QAM		206	208-235	216-662		267	269-304	280-833
1024 QAM (strong FEC)		224	226-259	236-722		302	305-345	318-833
1024 QAM (light FEC)		238	240-271	250-764		321	324-366	337-833
2048 QAM	260	262-296	273-833	347	350-396	365-833		

Rev05302018

PTP 820C HP SPECIFICATION SHEET

Modulation	Channel Size	No Compression	L2 Compression	Multi-Layer Compression	Channel Size	No Compression	L2 Compression	Multi-Layer Compression		
QPSK	50 MHz	69	70-79	73-223	60 MHz	86	86-98	90-276		
8 PSK		108	108-123	113-346		125	126-143	131-402		
16 QAM		146	147-166	153-469		174	175-198	182-558		
32 QAM		183	185-209	193-589		229	230-261	240-734		
64 QAM		237	239-270	249-761		281	283-320	295-833		
128 QAM		276	278-315	290-833		339	342-387	356-833		
256 QAM		327	330-374	344-833		391	394-447	411-833		
512 QAM		355	358-405	373-833		421	424-480	442-833		
1024 QAM (strong FEC)		387	390-441	406-833		458	461-522	481-833		
1024 QAM (light FEC)		411	414-468	431-833		486	490-555	511-833		
2048 QAM		443	446-505	465-833		527	531-601	553-833		
QPSK		80 MHz	113	114-129		119-363				
8 PSK			160	161-183		168-515				
16 QAM	228		230-260	240-733						
32 QAM	300		302-342	315-833						
64 QAM	367		369-418	385-833						
128 QAM	433		436-494	455-833						
256 QAM	499		503-569	524-833						
512 QAM	548		552-625	576-833						
1024 QAM	596		601-680	626-833						



# PMP 450i Access Point

Cambium Networks industry-leading 450 platform includes the all new PMP 450i and PTP 450i radios. The 450i product platform is the most scalable industrial-grade wireless broadband solution available.

Key Features:

- **Ultra-wide band** radios support the entire band, whether in 5 GHz or 3 GHz. Advanced radio design improves transmit power and increases receive sensitivity.
- **Rugged metal enclosure** designed to meet IP-66 and IP-67 standards to withstand harsh environments. Optional ATEX/HAZLOC certified models available for hazardous deployments.
- **Dynamic Interference Filtering** to provide industry leading noise isolation for improved performance
- Updated FPGA and SoC architecture **triples the processing power** compared to PMP 450
- **Multifunction AUX port** allows for greater flexibility for deployment by adding a camera or other PoE directly.
- Option with new **Integrated 90 degree sector antenna** optimized for frequency re-use (>35 dB F/B), high gain, null fill and predictable performance.
- Now capable of **up to 300 Mbps per sector** in a 40 MHz channel.



PRODUCT		RoW	US	EU	DES only	IC
5 GHz Model Numbers	Connectorized	C050045A001A	C050045A002A	C050045A003A	C050045A004A	C050045A015A
	Integrated 90° sector	C050045A005B	C050045A006B	C050045A007B	C050045A008B	C050045A016B
3 GHz Model Numbers	Connectorized	C030045A001A	C030045A001A	C030045A001A	C030045A003A	C030045A001A
	Integrated 90° sector	C030045A002A	C030045A002A	C030045A002A	C030045A004A	C030045A002A

SPECTRUM	
Channel Spacing	Configurable on 2.5 MHz increments, 3 GHz customizable to 50 KHz
Frequency Range	3 GHz : 3300 - 3900 MHz 5 GHz : 4900 - 5925 MHz
Channel Width	5 MHz, 7 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 30 MHz or 40 MHz 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 30 MHz or 40 MHz

## Specifications

### PMP 450I Access Point SPECIFICATION SHEET

#### INTERFACE

MAC (Media Access Control) Layer	Cambium Networks proprietary
Physical Layer	2x2 MIMO OFDM
Ethernet Interface	100/1000BaseT, full duplex, rate auto negotiated (802.3 compliant)
Protocols Used	IPv4, UDP, TCP, IP, ICMP, Telnet, SNMP, HTTP, FTP
Network Management	HTTP, HTTPS, Telnet, FTP, SNMP v3
MTU	1700 bytes
VLAN	802.1ad (DVLAN Q-inQ), 802.1Q with 802.1p priority, dynamic port VID

#### PERFORMANCE

Subscriber Per Sector	Up to 238	
ARQ	Yes	
Modulation Levels (Adaptive)	MCS	Signal to Noise Required (SNR, in dB)
2X	QPSK	10
4X	16QAM	17
6X	64QAM	24
8X	256QAM	32
Maximum Deployment Range	Up to 40 miles (64 km)	
Latency	3 - 5 ms, typical	
GPS Synchronization	Yes, via Autosync (CMM4)	
Quality of Service	Diffserve QoS	

#### LINK BUDGET

Integrated Sector Antenna	90° Azimuth, 8° Elevation (3dB rolloff), 2° Electrical Downtilt, Dual polarity
Antenna Gain	17 dBi ± 1 dBi integrated 90° sector or external
Transmit Power Range	40 dB dynamic range (to EIRP limit by region) (1 dB step)
Maximum Transmit Power	+27 dBm combined output (+25 dBm combined for 3 GHz)

#### PHYSICAL

##### 5 GHz

##### 3 GHz

Antenna Connection	50 ohm, N-Type (Connectorized version only)		
Surge Suppression (LPU fitted)	EN61000-4-5: 1.2us/50us, 500 V voltage waveform Recommended external surge suppressor: Cambium Networks Model # C000000L033A		
Mean Time Between Failure	> 40 Years		
Environmental	IP67, IP66		
Temperature / Humidity	-40°C to +60°C (-40°F to +140°F), 0-95% non-condensing		
Weight	Connectorized	Approx. 2.0 kg (4.5 lbs)	Approx. 2.0 kg (4.5 lbs)
	Integrated	Approx. 6.8 kg (15 lbs)	Approx. 7 kg (15.5 lbs)
Wind Survival	Connectorized	322 km/h (200 mi/h)	322 km/h (200 mi/h)
	Integrated	322 km/h (200 mi/h)	322 km/h (200 mi/h)
Dimensions (HxWxD)	Connectorized	26.0 x 13.4 x 6.4 cm (10.3" x 5.3" x 3.3")	26.0 x 13.4 x 6.4 cm (10.3" x 5.3" x 3.3")
	Integrated	59.5 x 15.7 x 15.5 cm (23.4" x 6.2" x 6.1")	73.2 x 19.7 x 15 cm (28.8" x 7.8" x 5.9")
Power Consumption	15 W typical, 25 W max, 55 W max with Aux port PoE out enabled		
Input Voltage	48-59 V DC, 802.3at compatible		

© 2017 Cambium Networks Ltd. All rights reserved.

CN PMP 450I AP 08152017

## Specifications

### PMP 450i Access Point SPECIFICATION SHEET

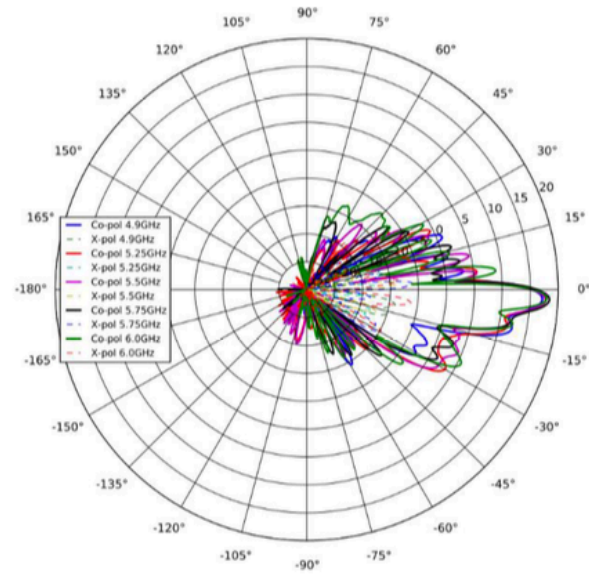
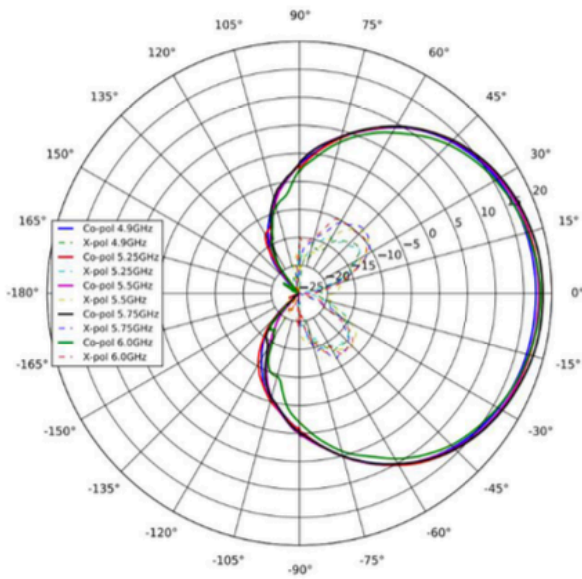
#### SECURITY

Encryption 56-bit DES, FIPS-197 128-bit AES

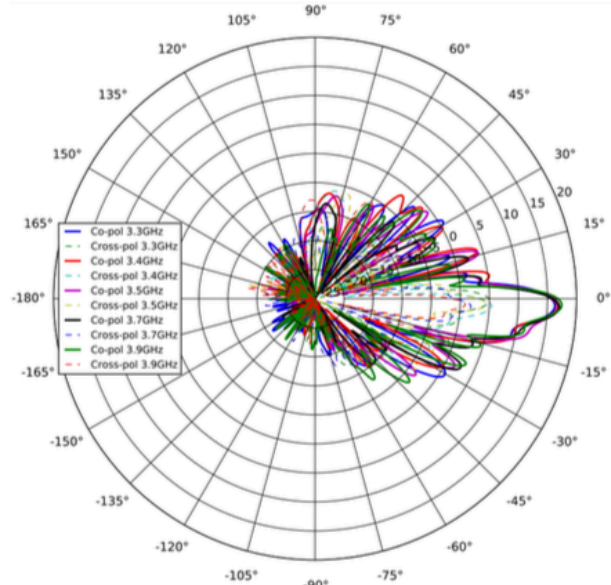
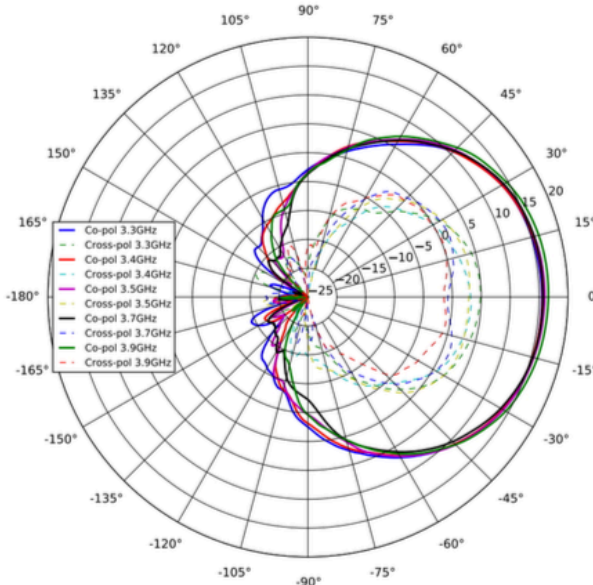
#### CERTIFICATIONS

Industry Canada	109W-0028 (3 GHz)	109AO-50450I (4.9, 5.2, 5.4, 5.8 GHz)
FCC ID	Z8H89FT0028 (3 GHz)	QWP-50450I (4.9, 5.1, 5.2, 5.4, 5.8 GHz)
CE	EN 302 326-2 v1.2.2 (3 GHz)	EN 301 893 v1.8.1 (5.4 GHz)
		EN 302 625 v1.1.1 (Broadband Disaster Relief, 4.9 GHz, 5.1 GHz)
		EN 302 502 v1.2.1 (5.8 GHz)

#### 5 GHz ANTENNA PATTERN FOR INTEGRATED SECTOR:



#### 3 GHz ANTENNA PATTERN FOR INTEGRATED SECTOR:



© 2017 Cambium Networks Ltd. All rights reserved.

CN PMP 450i AP 08152017



# PMP 450i Subscriber Module

Cambium Networks industry-leading 450 platform includes the all new PMP 450i and PTP 450i radios. The 450i product platform is the most scalable industrial-grade wireless broadband solution available.

**Key Features:**

- An **ultra-wide band** radio supports 4900 MHz to 5925 MHz with dynamic interference filtering, improved transmit power and better receive sensitivity.
- **Rugged metal enclosure** designed to meet IP-66 and IP-67 standards to withstand harsh environments. Optional ATEX/HAXLOC certified models available for hazardous deployments.
- **Dynamic Interference Filtering** to provide industry leading noise isolation for improved performance
- Updated FPGA and SoC architecture **triples the processing power** compared to PMP 450
- **Multifunction AUX port** allows for greater flexibility for deployment by adding a camera or other PoE directly.



PRODUCT			
Model Numbers	5 GHz	Connectorized	C050045C001A
		Integrated	C050045C002A
SPECTRUM			
Channel Spacing	Configurable on 2.5 MHz increments		
Frequency Range	4900 - 5925 MHz		
Channel Width	5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz or 30 MHz		
INTERFACE			
MAC (Media Access Control) Layer	Cambium Networks proprietary		
Physical Layer	2x2 MIMO OFDM		
Ethernet Interface	100/1000BaseT, full duplex, rate auto negotiated (802.3 compliant)		
Protocols Used	IPv4, UDP, TCP, IP, ICMP, Telnet, SNMP, HTTP, FTP		
Network Management	HTTP, HTTPS, Telnet, FTP, SNMP v3		
VLAN	802.1Q with 802.1p priority, dynamic port VID		

© 2016 Cambium Networks Ltd. All rights reserved.

CN PMP450i SM 09062016

## Specifications

### PMP 450i Subscriber Module SPECIFICATION SHEET

#### PERFORMANCE

ARQ	Yes
Modulation Levels (Adaptive)	MCS
2X	QPSK
4X	16QAM
6X	64QAM
8X	256QAM
Maximum Deployment Range	Up to 40 miles (64 km)
Latency	3 - 5 ms, typical
GPS Synchronization	Yes, via Autosync (CMM3, CMM4)
Quality of Service	Diffserve QoS

#### LINK BUDGET

Antenna Beam Width	10° azimuth for 23 dBi integrated antenna
Antenna Gain	+23 dBi H+V, integrated or external
Transmit Power Range	40 dB dynamic range (to EIRP limit by region) (1 dB step)
Maximum Transmit Power	+27 dBm combined output

#### PHYSICAL

Antenna Connection	50 ohm, N-Type (Connectorized version only)
Surge Suppression	EN61000-4-5: 1.2us/50us, 500 V voltage waveform Recommended external surge suppressor: Cambium Networks Model # C000000L033A
Mean Time Between Failure	> 40 Years
Environmental	IP66, IP67
Temperature / Humidity	-40°C to +60°C (-40°F to +140°F), 0-95% non-condensing
Weight	Connectorized                      Approx. 2.0 kg (4.5 lbs) Integrated                              Approx. 2.5 kg (5.5 lbs)
Wind Survival	Connectorized                      322 km/h (200 mi/h) Integrated                              200 km/h (124 mi/h)
Dimensions (HxWxD)	Connectorized                      26.0 x 13.4 x 6.4 cm (10.3" x 5.3" x 3.3") Integrated                              31.0 x 31.0 x 6.4 cm (12" x 12" x 2.5")
Power Consumption	15 W typical, 25 W max, 55 W max with Aux port PoE out enabled
Input Voltage	48-59 V DC, 802.3at compliant
Mounting	Wall or Pole mount with Cambium Networks Model # N000045L002A

#### SECURITY

Encryption	56-bit DES, FIPS-197 128-bit AES
------------	----------------------------------

#### Certifications

Industry Canada	TBD (4.9, 5.4, 5.8 GHz)
FCC ID	QWP-504501 (4.9, 5.4, 5.8 GHz)
CE	EN 301 893 v1.71 (5.4 GHz) EN 302 625 v1.1.1 (Broadband Disaster Relief, 4.9 GHz, 5.1 GHz) EN 302 502 v1.2.1 (5.8 GHz)

© 2016 Cambium Networks Ltd. All rights reserved.

CN PMP450i SM 09062016