

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN



Trabajo Fin de Máster

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en
tiempo real desde globos estratosféricos



ESCUELA POLITECNICA

Autor: Javier Mayoral de Lucas

Tutor: Manuel Prieto Mateo

2017

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

Escuela Politécnica Superior

**MÁSTER EN INGENIERÍA
DE TELECOMUNICACIÓN**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE SOLUCIONES
PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS EN TIEMPO
REAL DESDE GLOBOS ESTRATOSFÉRICOS**

Autor: D. Javier Mayoral de Lucas

Tutor: D. Manuel Prieto Mateo

TRIBUNAL:

Presidente: D. Sebastián Sánchez Prieto

Vocal 1º: D. Juan José Blanco Ávalos

Vocal 2º: D. Manuel Prieto Mateo

CALIFICACIÓN:

FECHA:

Agradecimientos

Me gustaría dedicar este proyecto a todas las personas que me han brindado su apoyo para poder llevar a cabo este trabajo. Especialmente a mi padre, a mi abuela, a mi tío y a toda mi familia por el apoyo que me han dado en todo momento, ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

A las personas importantes en mi vida que desgraciadamente ya no se encuentran entre nosotros.

A mis compañeros y amigos, por todos los ánimos que me han dado ayudándome en los peores momentos.

Por último, quiero agradecer a Manuel Prieto Mateo, mi tutor, la ayuda prestada durante todo el desarrollo del mismo y por los viajes a Brihuega.

Resumen

La evolución de la sociedad en esta etapa de las tecnologías de la información y comunicación, tiende al uso de dispositivos inalámbricos. Así ocurre en la transmisión de señales de video y telemetría en tiempo real.

En el presente TFM, se realiza un análisis de los pasos a seguir para la creación de un sistema de transmisión de datos tanto a baja como alta velocidad en tiempo real desde globos estratosféricos, de modo que el lector sea capaz de reproducirlo en similares proyectos o situaciones.

Palabras clave: globo estratosférico, SDR, video, telemetría, comunicaciones.

Abstract

The tendency to use Wireless devices in everyday life is becoming greater and greater, as it occurs in the transmission of video and telemetry in real time without wires.

The current dissertation is an analysis of the steps to be taken for the creation a system of transmission the data with a low and high speed system in real time from stratospheric balloons, so that the reader is able to reproduce it in similar projects or situations.

Keywords: stratospheric balloon, SDR, video, telemetry, communications.

Resumen extendido

La necesidad de progresar en todos los aspectos de la vida hace que el ser humano tienda a investigar en todos los campos, siendo uno de ellos el científico. De este modo en este texto se va a continuar un proyecto que nació en el año 2014, Medina, el cual consistía en el lanzamiento de un globo estratosférico para el análisis de diferentes datos científicos a lo largo de las diversas capas de la atmósfera hasta llegar a la estratosfera, que por la gran diferencia de presiones, hace que el globo explote y retome rumbo a la tierra de nuevo.

Este proyecto va a aportar una solución para la transmisión de datos tanto en alta como en baja velocidad desde el segmento aéreo hacia el terreno, de forma que en tierra seamos capaces de recibir la información en tiempo real permitiendo recolectar la información de cada uno de los diversos sensores que están embarcados en el globo y obtener un flujo de video de una cámara colocada en el mismo.

Para llevarlo a cabo se abordará un objetivo concreto y diferentes sub-objetivos, de forma que en cada uno de los diferentes capítulos de texto el lector se sea capaz de analizar cada uno de los diferentes pasos que hay que seguir para llegar a este cometido.

También se ilustrará de forma gráfica las distintas fases del montaje de los equipos en el globo, así como la estación de recepción terrena tanto en la primera fase del lanzamiento como la estación móvil.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	15
1.1 OBJETIVOS.....	17
CAPÍTULO 2 RESTRICCIONES DEL DISEÑO	19
2.1 REQUISITOS INTERFAZ DE TELEMETRÍA	19
2.2 REQUISITOS INTERFAZ DE VIDEO	21
CAPÍTULO 3 ESTUDIO DE DISPOSITIVOS DISPONIBLES	23
3.1 ESTUDIO MERCADO TRANSMISORES DE VIDEO	23
3.1.1 <i>Análisis contaminación electromagnética</i>	24
3.1.2 <i>Legislación banda de frecuencias</i>	27
3.1.3 <i>Balance de potencia del enlace</i>	30
3.1.4 <i>Pre-búsqueda</i>	32
3.2 ESTUDIO MERCADO TRANSMISORES DE TELEMETRÍA	38
3.2.1 <i>Análisis contaminación electromagnética</i>	39
3.2.2 <i>Legislación banda de frecuencias</i>	41
3.2.3 <i>Balance potencia del enlace</i>	43
3.2.4 <i>Pre-búsqueda</i>	46
CAPÍTULO 4 PROPUESTA TÉCNICA	53
4.1 VIDEO.....	53
4.1.1 <i>Equipos</i>	54
4.1.2 <i>Pruebas reales</i>	59
4.1.3 <i>Decisión - Conclusión</i>	61
4.2 TELEMETRÍA.....	62
4.2.1 <i>Equipos</i>	62
4.2.2 <i>Pruebas reales</i>	65
4.2.3 <i>Decisión – conclusión</i>	69
CAPÍTULO 5 PRUEBAS EN VUELO Y VALIDACIÓN.....	71
5.1 MONTAJE GLOBO.....	71
5.2 LANZAMIENTO.....	77
5.3 RESULTADOS.....	80
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	85
6.1 CONCLUSIONES.....	85
6.2 LÍNEAS FUTURAS	86
PRESUPUESTO.....	87
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	89
ACRÓNIMOS.....	93
ANEXOS.....	95
ANEXO 1.1	95
ANEXO 1.2	97
ANEXO 1.3	100

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1: RECEPTOR SDR TDT	24
FIGURA 2: ANÁLISIS ESPECTRAL 1.2GHZ.....	25
FIGURA 3: TV EXPLORER PROMAX	25
FIGURA 4: ESPECTRO TDT	26
FIGURA 5: ACRYLIC WIFI HEATMAPS.....	26
FIGURA 6: ANÁLISIS ESPECTRAL 2.4GHZ Y 5GHZ	27
FIGURA 7: ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	28
FIGURA 8: PÉRDIDAS LBF – FRECUENCIA - VIDEO	31
FIGURA 9: POTENCIA – DISTANCIA – FRECUENCIA - VIDEO	32
FIGURA 10: ANÁLISIS ESPECTRAL 433MHZ.....	39
FIGURA 11: ANÁLISIS ESPECTRAL 868MHZ.....	40
FIGURA 12: ANÁLISIS ESPECTRAL 915MHZ.....	41
FIGURA 13: CNAF 433MHZ	42
FIGURA 14: PÉRDIDAS LBF – FRECUENCIA - VIDEO	44
FIGURA 15: POTENCIA – DISTANCIA – FRECUENCIA - TELEMETRÍA	45
FIGURA 16: PINOUT MOTEINO USB.....	46
FIGURA 17: TRANSMISORES MOTEINO	47
FIGURA 18: TRAMA MAVLINK	51
FIGURA 19: TRANSMISOR 5.8GHZ 1000MW	54
FIGURA 20: TRANSMISOR 5.8GHZ 2000MW	55
FIGURA 21: ANTENA REALACC 5.8GHZ.....	56
FIGURA 22: ANTENA AOMWAY 11DBI 5.8GHZ.....	57
FIGURA 23: RECEPTOR DIVERSITY FR632 5.8GHZ	58
FIGURA 24: RECEPTOR RC805 5.8GHZ.....	59
FIGURA 25: MAPA COBERTURA TX 2W.....	60
FIGURA 26: MAPA COBERTURA TX 1W.....	61
FIGURA 27: TRANSCCEPTOR 3DR RADIO V1	63
FIGURA 28: TRANSCCEPTOR 3DR RADIO V2	64
FIGURA 29: CONFIGURACIÓN 3DR RADIO.....	66
FIGURA 30: 1º PRUEBA DE COBERTURA 3DR RADIO.....	68
FIGURA 31: 2º PRUEBA DE COBERTURA 3DR RADIO.....	68
FIGURA 32: COLOCACIÓN EN GLOBO 1	72
FIGURA 33: COLOCACIÓN EN GLOBO 1	73
FIGURA 34: COLOCACIÓN EN GLOBO 2	73
FIGURA 35: COLOCACIÓN EN GLOBO 3	74
FIGURA 36: GLOBO COMPLETO 1	75
FIGURA 37: GLOBO COMPLETO 2	75
FIGURA 38: GLOBO COMPLETO 2	76
FIGURA 39: GLOBO COMPLETO 3	76
FIGURA 40: ESTACIÓN RECEPTORA EPS	77
FIGURA 41: LLENADO DEL GLOBO	78
FIGURA 42: COMPROBACIONES GLOBO	79
FIGURA 43: ESTACIÓN RECEPTORA MÓVIL.....	80
FIGURA 44: RECEPCIÓN VIDEO 1	81
FIGURA 45: RECEPCIÓN VIDEO 2	81
FIGURA 46: MAPA PRIMERA POSICIÓN 3DR.....	82
FIGURA 47: MAPA ÚLTIMA POSICIÓN 3DR.....	83

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1: RESUMEN GANANCIAS POR BANDA VIDEO.....	31
TABLA 2: TABLA-RESUMEN RESTRICCIONES/BANDA VIDEO.....	38
TABLA 3: RESUMEN GANANCIAS POR BANDA TELEMETRÍA.....	45
TABLA 4: TABLA-RESUMEN RESTRICCIONES/BANDA TELEMETRÍA.....	52
TABLA 5: DATASHEET TRANSMISOR 5.8GHz 1000mW.....	54
TABLA 6: DATASHEET TRANSMISOR 5.8GHz 2000mW.....	55
TABLA 7: DATASHEET ANTENA REALACC 5.8GHz.....	56
TABLA 8: DATASHEET ANTENA AOMWAY 11dBi 5.8GHz.....	57
TABLA 9: DATASHEET RECEPTOR DIVERSITY FR632 5.8GHz.....	58
TABLA 10: RANGO FRECUENCIAS RECEPTOR DIVERSITY FR632 5.8GHz.....	58
TABLA 11: DATASHEET RECEPTOR FC805 5.8GHz.....	59
TABLA 12: TABLA-RESUMEN TRANSMISOR VIDEO 1W/2W.....	61
TABLA 13: DATASHEET 3DR RADIO V1.....	63
TABLA 14: DATASHEET 3DR RADIO V2.....	64
TABLA 15: PRESUPUESTO MANO DE OBRA.....	87
TABLA 16: PRESUPUESTO MATERIAL.....	88
TABLA 17: PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL.....	88
TABLA 18: PRESUPUESTO PC.....	88
TABLA 19: PRESUPUESTO FINAL.....	88

Capítulo 1

Introducción

El grupo de investigación del espacio, *SRG (Space Research Group)* de la Universidad de Alcalá con motivo del Máster de Ciencia y Tecnología del Espacio lleva lanzando globos estratosféricos desde el año 2014 con propósitos científicos. Dichos lanzamientos han ido perfeccionando dicha técnica, e ir incluyendo nuevos desafíos cada vez más complejos debido a las peculiaridades de este tipo de globos por todas sus limitaciones tanto espaciales como temporales.

Un globo estratosférico se denomina a los globos que tienen la capacidad de alcanzar la estratosfera, comenzando entre los 13 km y 20km hasta los 50km de altitud. Este tipo de globos, principalmente tienen como objetivo un estudio científico para la obtención de una serie de resultados a través de experimentos científicos. Por tanto, el sistema estará compuesto por varios subsistemas que estarán relacionados entre sí. A lo largo de los años, muchos campos han sido los que han usado este tipo de técnicas.

- Astronomía y astrofísica: Este tipo de globos con estos fines son utilizados para el estudio y la detección de radiaciones del tipo infrarroja, rayos X, rayos gamma, etc., de forma que pudiera detectar esas partículas tanto planetarias, galácticas y extra galácticas, de modo que permita el estudio del fondo cósmico de la energía remanente del Big Bang.
- Estudios científicos de la atmosfera y de la tierra: Uso de radiometría, espectroscopia, cromatografía, análisis del geomagnetismo terrestre.
- Aplicaciones militares: Reconocimiento fotográfico, comunicaciones, guerra electrónica, detección de radiaciones, blancos móviles para pruebas de misiles.

- Astronáutica: Estudios de radiación, ambientes de micro gravedad, caída libre, estudio dinámica de vehículos.
- Tecnología: Ensayos de vuelo, prueba de equipos electrónicos, prueba de sistemas de comunicaciones.

Este tipo de sistemas suelen seguir una línea común en cuanto a la composición de los elementos necesarios:

- Habitáculo para la colocación de la carga útil en cual se colocan todos los instrumentos científicos y demás sistemas.
- Paracaídas para frenar el descenso del globo.
- Sistema de comunicaciones, para el envío de información a tierra.
- Sistema de alimentación.
- Sistema de propulsión, en este caso un globo con Helio.

Desde el comienzo de los experimentos con globos, *Proyecto Medina*, del año 2014, se han ido proponiendo y materializando diversas pruebas y ensayos dentro del globo, de forma que la única forma para la obtención de los resultados consistía en encontrar el globo físicamente para extraerlos, de forma que si los sistemas de geoposicionamiento o de transmisión de la posición fallaban el globo quedaría perdido y la única opción de recuperación sería si algún paisano de la zona de caída lo encontrara.

Por tanto, en este texto se va a analizar una serie de sistemas para transmitir la información al segmento terreno de forma que la información de los experimentos científicos se pueda recoger en tiempo real y además se proporcionará un sistema de transmisión de video en tiempo real para visualizar el ascenso y caída del mismo.

Para conseguirlo, se van a definir una serie de objetivos los cuales estarán restringidos por una serie de limitaciones que se abordan en el capítulo 2, después en el capítulo 3 se realizará una pre búsqueda de equipos sin perder de vista los análisis radioeléctricos ni la legislación vigente, en el capítulo 4, se analizará la propuesta técnica avalándola con pruebas reales, en el capítulo 5 se realizaran las pruebas en vuelo más la validación y por último en el capítulo 6 las conclusiones y líneas futuras del proyecto.

1.1 Objetivos

En este proyecto se ha definido un **objetivo principal**:

- a) Realizar un sistema de comunicaciones tanto de alta como baja velocidad de comunicación desde globos estratosféricos.

Para alcanzar la realización del objetivo principal, hay que marcarse una serie de **sub-objetivos** que serán abordados en los diferentes capítulos del texto.

- a) Analizar diferentes sistemas de transmisión de video en diversas bandas, de forma que se transmita en tiempo real y ofrecer la mejor solución atendiendo a las restricciones del diseño.
- b) Analizar las diferentes alternativas para la transmisión de telemetría para el geo posicionamiento y datos científicos a través de varios sistemas en tiempo real atendiendo a las restricciones del diseño.
- c) Montaje en globo.
- d) Análisis y montaje de la estación de recepción terrena para las diferentes señales.

Capítulo 2

Restricciones del diseño

Debido a la naturaleza de los globos estratosféricos, se van a exponer una serie de requisitos que debe cumplir el sistema para que el lanzamiento concluya con éxito. Dichas limitaciones o restricciones vienen determinadas por una serie de factores como son: el peso, las dimensiones, la duración de la batería, la legislación radioeléctrica y la potencia.

Consideraciones generales

A nivel global, se debe tener en cuenta que las restricciones no solo afectan a los equipos de telemetría y de video, sino que afectan a todo el conjunto, como es la electrónica, carcasa, antenas y cables. Además, se impone una restricción global en cuanto a cables:

- a) Los cables deben ser lo más cortos posibles para reducir la masa.

2.1 Requisitos interfaz de telemetría

- a) **REQ-1 Potencia:** La potencia consumida por la interfaz de telemetría debe ser inferior a **250 mW**.

Justificación: Hasta la fecha se han lanzado un total de 3 globos estratosféricos por parte del SRG, por lo que este valor viene heredado de dichos experimentos. Actualmente la duración de la batería de la plataforma sin radio APRS es de aproximadamente 4 horas y media, con una demanda de corriente de 900 mA. La duración mínima de la batería debe ser de 3 horas, con lo que el consumo máximo no podrá superar los 1350 mA, lo que restarían 450 mA de diferencia. La radio APRS consume 400 mA de pico (2W), que es cuando realiza la transmisión. En resumen, solo quedan 50 mA (250 mW) para la interfaz de telemetría.

- b) REQ-2 Duración batería:** La duración de la batería debe ser para la parte de telemetría como mínimo **3 horas**, contando la raspberry, diferentes sensores y los diferentes transmisores de telemetría en tiempo real.

Justificación: La duración del vuelo del globo es de aproximadamente 1:30h desde el lanzamiento hasta que alcanza la altura aproximada de 30km. y desciende hasta el punto de caída, por lo que la batería debe durar el vuelo más el periodo de preparación del lanzamiento y más un tiempo de back up para la búsqueda del globo.

- c) REQ-3 Masa:** La masa máxima del transmisor de telemetría no puede exceder los **30 gramos** incluyendo la antena de transmisión.

Justificación: Debido a la gran cantidad de equipos que se van a embarcar y analizando los resultados de años anteriores la caja ya supera el máximo de 2069 gramos del globo lanzando en el 2016, por lo que los 30 gramos para la nueva interfaz de telemetría se obtendrán reduciendo el cableado interno de la caja. En cualquier caso, el máximo total no podrá superar los 2069 gramos.

- d) REQ-4 Dimensiones máximas:** La nueva interfaz no podrá exceder los **40 mm. de ancho x 60 mm. de largo x 20 mm. de altura** sin incluir la antena.

Justificación: Debido a las dimensiones de la caja en la cual estarán embarcados los diferentes equipos y al poco espacio libre, no se puede exceder las dimensiones indicadas. La antena no se tiene en cuenta en dichas dimensiones ya que se colocará por fuera de la caja, lo que no influye en las dimensiones de los equipos internos.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

- e) **REQ-5 Frecuencia:** No hay requisitos previos de la banda de frecuencias a utilizar (se realizará análisis en capítulos posteriores), pero si se deben cumplir las siguientes pautas:
- a. **No pagar un canon o licencia por su uso.**
 - b. **Ser una frecuencia legal para el uso del sistema.**
 - c. **Nivel de contaminación electromagnética bajo.**

2.2 Requisitos interfaz de video

- a) **REQ-1 Potencia:** La potencia de transmisión de video no puede superar los **2W**.

Justificación: Un transmisor de mayor potencia implica mayor consumo y una batería más grande. Al estar en un sistema aéreo hay que cumplir con unos requisitos y no puede embarcarse cualquier batería.

- b) **REQ-2 Batería:** La duración de la batería debe ser superior a las **3 horas** y debe estar provisto el sistema de una **batería exclusivamente para el video**.

Justificación: La duración del vuelo del globo es de aproximadamente 1:30h desde el lanzamiento hasta que alcanza la altura aproximada de 30km. y desciende hasta el punto de caída, por lo que la batería debe durar el vuelo más el periodo de preparación del lanzamiento y más un tiempo de back up para la búsqueda del globo. Además, para que las demás partes del sistema funcionen de forma autónoma es necesario que la batería sea independiente para evitar problemas a esos sistemas por agotamiento rápido de la misma.

- c) **REQ-3 Masa:** La masa del transmisor más la antena y la batería no debe superar los **100 gramos**.

Justificación: Debido a la herencia del globo del año pasado, no se debe superar el peso del transmisor de video del globo de 2016 (modelo BL-610T). Además, es necesario incluir una batería externa al sistema para que sea independiente, por tanto se debe tener en cuenta su masa.

- d) **REQ-4 Dimensiones:** El transmisor de video no puede superar los máximas **40 mm. de ancho, 60 mm. de largo y 20 mm. de altura**, sin incluir la antena.

Justificación: Analizando la herencia del globo del año 2016, el transmisor de video utilizado no excedía de esas dimensiones, por tanto se tendrán en cuenta como límite máximo ya que en la caja hay muchos más equipos y el espacio es limitado. La antena no se tiene en cuenta en dichas dimensiones ya que se colocará por fuera de la caja, lo que no influye en las dimensiones de los equipos internos.

e) REQ-5 Frecuencia: No hay requisitos previos de la banda de frecuencias a utilizar (se realizará análisis en capítulos posteriores), pero si se deben cumplir las siguientes pautas:

- a. No pagar un canon o licencia por su uso.**
- b. Ser una frecuencia legal para el uso del sistema.**
- c. Nivel de contaminación electromagnética bajo.**

Capítulo 3

Estudio de dispositivos disponibles

En este capítulo va a ser analizados diferentes equipos tanto de telemetría como de video siguiendo las restricciones que se han impuesto en el capítulo dos.

3.1 Estudio mercado transmisores de video

Siguiendo la quinta restricción del capítulo 2, en cuanto a la frecuencia de trabajo del sistema no está definida, por tanto se va a realizar el análisis del mercado en las distintas bandas donde es habitual la transmisión de video atendiendo a las restricciones de contaminación electromagnética y legislación, sin perder de vista los otros cuatro puntos de restricciones.

Habitualmente en España se comercializan equipos para la **transmisión de video** en la banda de **TDT, en 1.2GHz, en 2.4GHz y en 5.8GHz**, por lo que los estudios se centrarán en dichas frecuencias.

3.1.1 Análisis contaminación electromagnética

El entorno del lanzamiento del globo, va a determinar muchas de las diferentes configuraciones que se realicen a la hora de la transmisión de las diferentes señales, ya sea para video o para la telemetría. Hay que determinar, que dependiendo del escenario, si es ciudad o campo, el nivel de ruido de la banda y el nivel de interferencia varía drásticamente. Por ejemplo, en ciudades la contaminación de la banda ISM es muy superior a la que pueda tener un pueblo, al igual que si el lanzamiento se encuentra en zonas especiales, como pudieran ser bases militares, comisarías, cárceles, etc., donde se utilizan inhibidores.

Por todo ello, el análisis radioeléctrico es muy determinante para analizar cuáles son las bandas de frecuencia más adecuadas para la transmisión de dichas señales.

Para la medición de cada banda, va ser utilizado un dispositivo distinto. En este texto, se va a proponer el uso de una serie de equipos dependiendo de cuál sea la banda de trabajo.

Para la frecuencia de la banda de **1.2GHz**, se propone la utilización de un TDT USB con chip RTL2832U – R820T2, que tras una modificación del driver a través del programa *zadig.exe* se consigue que funcione como un **SDR** (Software Defined by Radio). Para la visualización del espectro es utilizado el programa libre **SDR Sharp**.



Figura 1: Receptor SDR TDT

En la siguiente imagen, se muestra un ejemplo del programa *SDRSharp* en el cual se observa el espectro electromagnético de la banda de 1.2GHz en la EPS de Alcalá observándose como el nivel de ruido es inferior a -66dB, y apreciándose alguna pequeña transmisión pero no interferiría en el sistema que se montara en esta banda.

de la utilización de esta banda, el Ministerio debería asignar un canal que estuviera libre en todo el centro peninsular. Además, se debe tener en cuenta que principalmente la polarización en esta banda suele ser horizontal.



Figura 4: Espectro TDT

Para la banda **ISM de 2.4/5.8GHz**, será utilizada la **tarjeta WiFi** del ordenador portátil y el programa **Acrylic Wifi Heatmaps**, donde permite realizar un mapa de calor y devuelve la información sobre las diferentes estaciones base, de forma que permite recrearse una idea de las partes donde la banda esté más saturada.

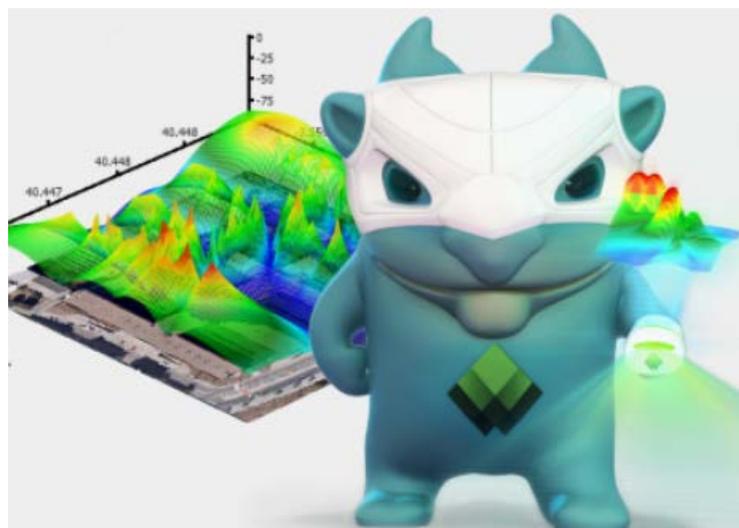


Figura 5: Acrylic Wifi Heatmaps

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

A continuación en la figura, se muestra un ejemplo del uso del programa *Acrylic* en su versión trial, se ha realizado un análisis de los diferentes puntos de acceso que hay a lo largo de la EPS de Alcalá, tanto en la banda de 2.4GHz como en la de 5GHz.

La banda ISM 2.4 y 5GHz, al tratarse de una banda libre para la industria, ciencia y medicina, por lo que está muy saturada, ya que las principales tecnologías de transmisión de datos, como pueden ser *WiFi* o *Bluetooth* se encuentran ahí, ocupando grandes anchos de banda y elevando el nivel de ruido.

En la siguiente figura, se aprecia el número de puntos de acceso con cada una de las diferentes tecnologías, observándose que en 2.4GHz el número es mayor que en 5GHz. Por tanto, la contaminación en esta primera banda es superior a la segunda.



Figura 6: Análisis espectral 2.4GHz y 5GHz

3.1.2 Legislación banda de frecuencias

En esta parte del capítulo se va a tratar como influye la legislación radioeléctrica de España para las posibles bandas que se puedan utilizar en el proyecto.

En la siguiente imagen, es mostrado el espectro electromagnético desde longitudes de onda muy largas, hasta llegar a las longitudes muy pequeñas, siendo estas radiaciones ionizantes perjudiciales para la salud.

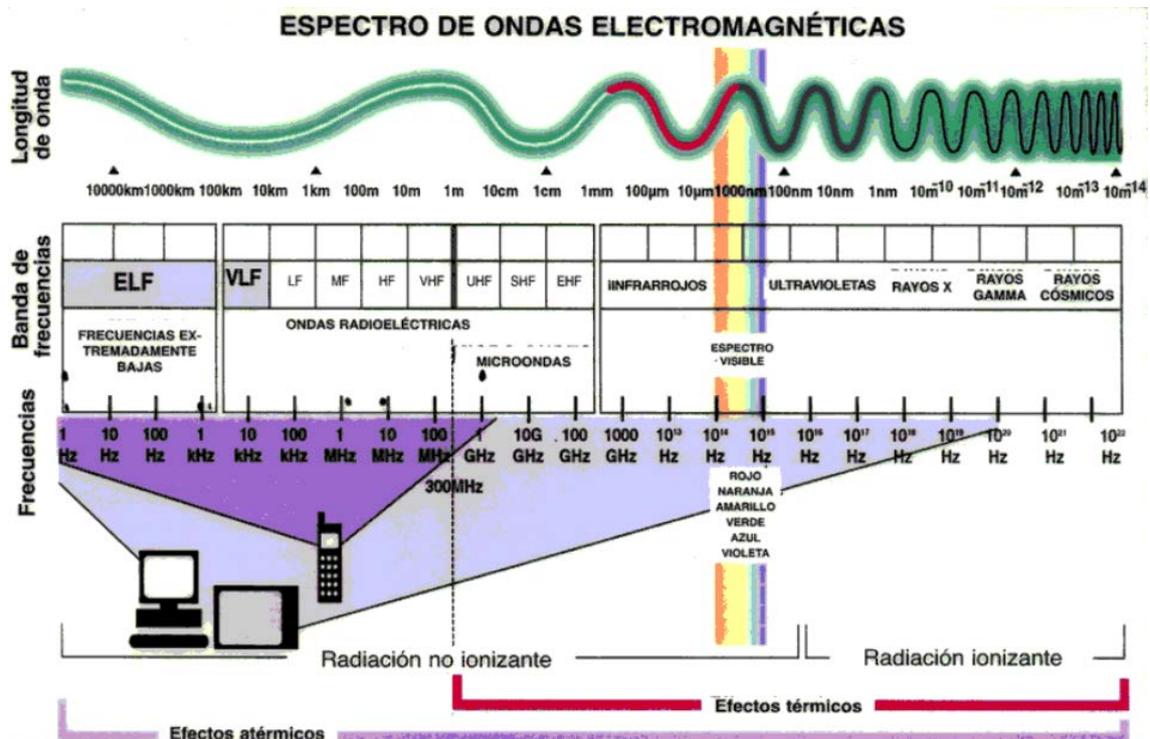


Figura 7: Espectro radioeléctrico

Este **proyecto** se va a centrar en la banda **UHF** extendiéndose esta desde 300MHz hasta los 3GHz y **SHF** de 3GHz a 30GHz.

Analizando el **CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias)** se va a desarrollar como es el funcionamiento de las bandas de video mencionadas anteriormente.

TDT

La TDT se rige dentro del **CNAF** por la **UN-36**, la cual dice lo siguiente:

La banda de frecuencias 470 a 862 MHz se utiliza para la prestación de los servicios de televisión terrestre con tecnología digital, hasta la fecha que se establezca para el cese de las emisiones de televisión digital terrestre en la subbanda de frecuencias de 790 a 862 MHz, y su utilización será regulada conforme a los Planes Técnicos Nacionales.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

La banda de la Televisión Digital Terrestre en España funciona bajo licencia. Dichas licencias, dependiendo de la zona se realiza una asignación de un canal que se encuentre libre en el radio de cobertura que se simule, de forma que no interfiera con otras comunicaciones o localidades.

1.2GHz

Se trata de una frecuencia en la cual está restringida la transmisión de señales sin autorización previa.

2.4GHz

La banda de 2.4GHz está legislada según la normativa de una banda ISM, de forma que puede ser utilizada por la industria, la ciencia y la medicina sin pedir ningún tipo de licencia pero existen una serie de restricciones en cuanto a PIRE.

Esta banda, viene regulada por una primera norma **UN – 51**, más una posterior **UN-85**.

La banda de frecuencias 2400-2483,5 MHz, designada en el Reglamento de Radiocomunicaciones para aplicaciones ICM, podrá ser utilizada también para los siguientes usos de radiocomunicaciones bajo la consideración de uso común:

a) Sistemas de transmisión de datos de banda ancha y de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas incluyendo redes de área local. Estos dispositivos pueden funcionar con una potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) máxima de 100 mW conforme a la Decisión de la Comisión 2011/829/UE y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03.

*b) Dispositivos genéricos de baja potencia en recintos cerrados y exteriores de corto alcance, incluyendo **aplicaciones de video**. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será inferior a **10 mW** conforme a la Decisión de la Comisión 2011/829/UE y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, siendo la norma técnica de referencia el estándar ETSI EN 300 440.*

5.8GHz

La banda de 5.8GHz está legislada según la normativa de una banda ISM, de forma que puede ser utilizada por la industria, la ciencia y la medicina sin pedir ningún tipo de licencia pero existen una serie de restricciones en cuanto a PIRE.

Sigue la norma **UN – 130**.

Dispositivos genéricos de corto alcance (SRD) en la banda de 5 GHz de acuerdo con la Decisión de la Comisión 2011/829/UE por la que se modifica la Decisión 2006/771/CE sobre la armonización del espectro radioeléctrico para su uso por dispositivos de corto alcance, así como la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03. Se autoriza el funcionamiento de dispositivos genéricos de baja potencia en la banda 5725-5875 MHz bajo la consideración de uso común.

*La potencia isotrópica radiada equivalente máxima se limita a **25 mW (p.i.r.e.)**. La norma técnica de referencia para estos dispositivos es la norma ETSI EN 300 440.*

3.1.3 Balance de potencia del enlace

Un punto importante en todo diseño radioeléctrico es el balance de potencia del enlace, ya que es el encargado de indicar si la comunicación será fructífera o no. Para ello, se muestran varias gráficas, la primera hace referencia a las pérdidas por espacio libre y la segunda a la potencia necesaria para cubrir la distancia impuesta según frecuencias.

Para realizarlo, se ha utilizado la herramienta matemática **MATLAB**, en la cual se ha programado un script para la representación.

La primera de las imágenes, son las pérdidas por espacio libre respecto a la distancia. Para su cálculo se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$L_{bf} (dB) = 32,4 + 20 \log (f) + 20 \log (d), f \text{ en MHz}, d \text{ en Km.}$$

El script está preparado para la representación de las cuatro frecuencias de transmisión de video estudiadas en el texto. Como puntualización, decir que la banda de TDT es muy extensa, por lo que se ha propuesto como frecuencia central los 600MHz.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

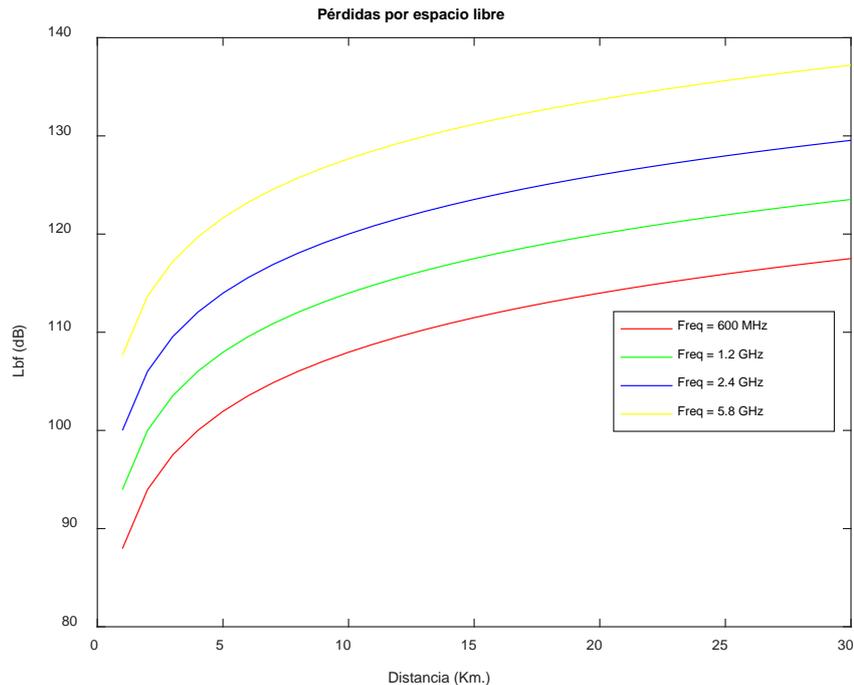


Figura 8: Pérdidas LBF – frecuencia - Video

Analizando la figura, se puede observar, que a mayor frecuencia las pérdidas por espacio libre van aumentando, por lo que es un factor a tener en cuenta a la hora de elegir la banda de frecuencias, ya que por ejemplo, para una distancia de 10Km., a una frecuencia de 600MHz las pérdidas son de 108dB, mientras que en la banda de 5.8GHz son de 127.7dB.

La siguiente de las imágenes se trata de la distancia máxima respecto la potencia y dependiendo de la banda de frecuencias a utilizar. En este punto, hay que considerar tanto los transmisores, como las antenas y los receptores. Por tanto, se debe analizar variando según corresponda en cada banda las ganancias de las antenas (media de las antenas del mercado) y sensibilidades de los receptores.

En la siguiente tabla resumen se muestran los valores utilizados.

Banda	Gan. ant. TX (dB)	Gan. Ant. RX. (dB)	Sensibilidad RX. (dBm)
TDT	3	17	-92
1,2GHz	4	7	-92
2,4GHz	2,5	18	-90
5,8GHz	11	11	-92

Tabla 1: Resumen ganancias por banda video

Para la realización en MATLAB de la gráfica, se ha utilizado la fórmula del balance de potencia del enlace despejando la potencia de transmisión y se ha variado la distancia.

$$Pot_{TX} = Sensibilidad + Pérdidas_{TX} - Ganancia_{TX} + LBF - Ganancia_{RX} + Pérdidas_{RX}$$

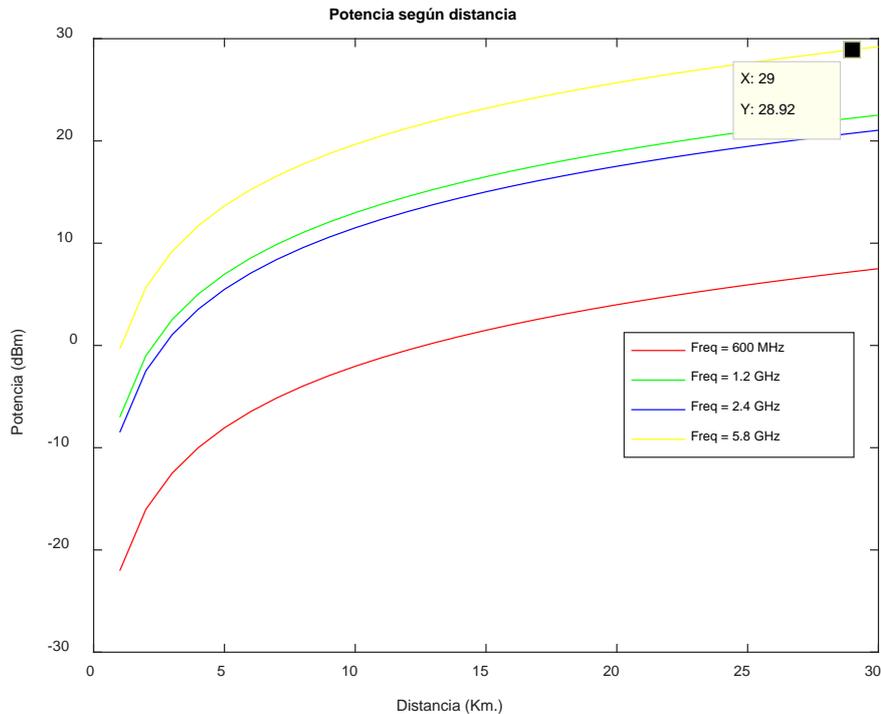


Figura 9: Potencia – distancia – frecuencia - Video

Se observa, como era de esperar, a mayor frecuencia más potencia es requerida para la transmisión de las señales. Por tanto, para la banda de 600MHz, la mínima potencia requerida sería 8dBm, para la de 1.2GHz de 21dBm, para 2.4GHz de 23dBm y para la de 5.8GHz de 29dBm.

3.1.4 Pre-búsqueda

Una vez conocido como afectan las diferentes pérdidas por espacio libre y la potencia mínima requerida por cada banda, se van a analizar distintas alternativas para la transmisión de video. En concreto, se proponen **cuatro alternativas, 1 digital y 3 analógicas**, cada una en bandas diferentes.

En la búsqueda de diferentes transmisores de video, principalmente se encuentran equipos analógicos, a excepción de la banda de la TDT que es digital con modulación CODFM. Profesionalmente existen unos equipos transmisores de video en

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

2.4GHz que son digitales, pero el precio ronda los 60.000€, por lo que su descarte es inmediato.

La primera de las opciones que se ha barajado ha sido un transmisor de **TDT digita**, de forma que se planteó en un primer momento que los habitantes de los pueblos por donde volara el globo si sintonizaran el canal de transmisión pudieran ver el video en tiempo real, además de las ventajas en cuanto a las pérdidas por espacio libre, que en esta banda son mucho menores que en las demás estudiadas.

La **TDT** (parte terrestre, no SAT) trabaja en la banda UHF comprendida entre 300MHz y 3GHz, concretamente entre **470MHz y 862MHz** según aprobó la *Conferencia Regional de Radiocomunicaciones de la Región 1* de la UIT con el Plan de Ginebra de 2006, aunque con el Real Decreto 805/2014 de 19 de septiembre (por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre y se regulan determinados aspectos para la liberación del dividendo digital) se han eliminado las frecuencias comprendidas entre 790 y 862 MHz en favor de la tecnología LTE.

La **Televisión Digital Terrestre** a lo largo del planeta dependiendo de la zona sigue unas determinadas normas:

- **DVB-T** (Digital Video Broadcasting-Terrestrial). Para la zona de Europa, Oceanía, países de Asia, África y Colombia.
- **ATSC** (Advanced Television System Committee). Para las zonas de Norteamérica, Centroamérica y Corea del Sur.
- **ISDB-T** (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial). Para las zonas de Japón y países de Sudamérica.
- **DTMB** (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast). Para las zonas de China, Hong Kong y Macao.

Por lo tanto, se deben encontrar equipos que sean capaces de soportar el estándar DVB-T para poder visualizarlo en las casas.

A continuación se van a analizar si se cumplen o no cada uno de las diferentes restricciones que se han impuesto en el *capítulo dos*. Para ello, se ha analizado el mercado encontrando tres moduladores COFDM con tecnología DVB-T, concretamente un **Tecatel HD, Ikusi MAC Home HD y Televés DVB-T DigiMod**. De todos ellos, se han extraído unos valores medios para su análisis.

- REQ-1 Potencia:** Según las especificaciones, la potencia media de transmisión ronda los 80dBu, ya que corresponde con 3dBm y atendiendo a los resultados del balance de potencia SI cumple dicho requisito.

b) REQ-2 Duración batería: De media tienen un consumo de 12v/2A, por lo que es un consumo excesivo, ya que el tipo de batería a colocar se excedería.

c) REQ-3 Masa: La masa media de los equipos ronda entre 0.5Kg y 1Kg, por tanto se están superando entre un 500% y un 1000% la masa máxima autorizada, además, no está incluida ni el peso de la batería ni de la antena.

d) REQ-4 Dimensiones:

a. Las dimensiones medias del equipo son 203 x 110 x 50mm, por lo que el tamaño es excesivo.

b. Dimensiones antena: Atendiendo a la frecuencia de trabajo de un sistema, puede determinarse cual sería las dimensiones mínimas de una antena dipolo. A medida que la frecuencia va en aumento, la longitud de onda decrece, por tanto las medidas también en consecuencia, por lo que se va a calcular cual debería ser la mínima longitud a utilizar. Matemáticamente, una antena $\lambda/4$ tiene una longitud de:

$$\frac{3 \times 10^8}{600 \times 10^6} = 0.5 \text{ m} \frac{50}{4} = 0.125 \text{ cm}$$

e) REQ-4 Frecuencia: La banda que se utilizaría sería UHF, concretamente desde 470MHz hasta 858MHz, en la cual como se ha indicado en el *punto 3.1.2* se debe pedir autorización al Ministerio para contratar un canal TDT que no esté asignado en las provincias limítrofes para la transmisión de la señal por lo que conlleva un canon.

Ante la no posibilidad de instalar los equipos de TDT en el globo, por no cumplir las restricciones, se va a proceder al análisis de la siguiente banda donde existen soluciones comerciales para la transmisión de video a pesar de que las pérdidas por espacio libre aumenten ya que según el balance de potencia realizado anteriormente es factible. Se trata de la banda de 1.2GHz.

Al igual que anteriormente, se ha realizado un estudio de los productos del mercado, obteniendo una media en cuanto a las características.

a) REQ-1 Potencia: Según las especificaciones existe una amplia gama de productos que oscilan entre los 500mW hasta más de 2.5W. Por tanto, podrían ser elegidos los productos por debajo de los 2W.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

b) REQ-2 Duración batería: Dependiendo del transmisor elegido, los de alta potencia tienen un consumo de 12V/3A mientras que los de baja de 12V/260mA. Por tanto, dependiendo del transmisor podría embarcarse o no.

c) REQ-3 Masa: La media de la masa de estos equipos oscila entre los 80g y los 250g, por lo que estaría muy cerca del límite de los 100g. Además, el peso es sin antena y sin batería, por lo tanto no se podría cumplir la restricción.

d) REQ-4 Dimensiones:

a. Al igual que antes, dependiendo de la potencia, las dimensiones oscilan entre 13.1 cm x 8 cm x 2.1 cm y 5.3 x 4 x 1.9 cm. Por lo que si hay modelos que cumplen la restricción.

b. Dimensiones antena: Las antenas de esta banda son más pequeñas que la banda estudiada anteriormente. Matemáticamente, una antena $\lambda/4$ tiene una longitud de:

$$\frac{3 \times 10^8}{1.2 \times 10^9} = 0.25 \text{ m} \frac{250}{4} = 6.25 \text{ cm}$$

Por tanto, las antenas son más pequeñas y se podrá conseguir una mayor ganancia.

e) REQ-5 Frecuencia: La banda de 1.2GHz, tal y como se ha estudiado anteriormente no es una banda ISM, por lo que no se puede transmitir sin autorización previa del Ministerio y pago del canon. Además, se encuentra muy cerca de la banda UMTS de telefonía móvil pudiendo provocar interferencias.

Debido a la imposibilidad de transmisión en las dos bandas anteriores, la siguiente propuesta se trata de los transmisores en la banda de 2.4GHz. Esta es una banda conocida para este proyecto, ya que en el globo del año 2016 se optó por su uso para la transmisión de video, pero los resultados obtenidos no fueron los esperados debido a la gran contaminación de la banda ISM.

A continuación se va a realizar el análisis de dichos equipos en cuanto a sus características.

a) REQ-1 Potencia: Según las especificaciones existe una amplia gama de productos que oscilan entre los 500mW hasta más de 3W. Por tanto, podrían ser elegidos los productos por debajo de los 2W.

- b) REQ-2 Duración batería:** Al igual que anteriormente, dependiendo del transmisor elegido, los de alta potencia tienen un mayor consumo que oscila entre los 12V/1.6A y los de menor potencia a 12V/450mA. Se puede determinar que estos dispositivos tienen mejor rendimiento que los de la banda anterior. Por tanto, dependiendo del transmisor podría embarcarse o no.
- c) REQ-3 Masa:** La media de la masa de estos equipos oscila entre los 80g y los 290g, por lo que estaría muy cerca del límite de los 100g. Además, el peso es sin antena y sin batería, por lo tanto no se podría cumplir la restricción.
- d) REQ-4 Dimensiones:**
- Al igual que antes, dependiendo de la potencia, las dimensiones oscilan entre 9 x 6.6 x 2.7 cm y 5.9 x 3.3 x 1.6 cm. Por lo que si hay modelos que cumplen la restricción.
 - Dimensiones antena: Las antenas de esta banda son más pequeñas que la banda estudiada anteriormente. Matemáticamente, una antena $\lambda/4$ tiene una longitud de:

$$\frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ m} \frac{125}{4} = 3.125 \text{ cm}$$

Por tanto, las antenas son más pequeñas y se podrá conseguir una mayor ganancia.

- e) REQ-5 Frecuencia:** La banda de 2.4GHz se trata de una banda ISM, por lo que se puede transmitir sin pedir la autorización previa tal y como se ha mostrado anteriormente, pero estos equipos exceden la potencia máxima de la banda.

La última de las alternativas a estudiar es la banda de los 5.8GHz. Esta es una banda que está mucho menos saturada que la anterior, en la cual se está tendiendo a su uso tanto en transmisión de datos como de video. Actualmente los sistemas FPV de los drones están tendiendo al uso de esta banda, por lo que existen multitud de transmisores como de antenas para su uso.

- REQ-1 Potencia:** Según las especificaciones existe una amplia gama de productos que oscilan entre los 500mW hasta más de 2W. Por tanto, podrían ser elegidos los productos por debajo de los 2W.
- REQ-2 Duración batería:** Al igual que anteriormente, dependiendo del transmisor elegido, los de alta potencia tienen un mayor consumo que oscila entre los 12V/900A y los de menor potencia a 12V/220mA. Se puede determinar que estos dispositivos tienen mejor rendimiento que los de la

banda anterior. Por tanto, dependiendo del transmisor podría embarcarse o no.

c) REQ-3 Masa: La media de la masa de estos equipos oscila entre los 8g y los 100g, por lo que de todos los sistemas que se han estudiado anteriormente este es el que más se ajusta a las limitaciones impuestas.

d) REQ-4 Dimensiones:

a. Las dimensiones de estos modelos se ajustan muy bien a las restricciones, ya que de media son 5cm x 3cm x 1cm, por lo que es un dispositivo pensado para vuelo.

b. Dimensiones antena: Las antenas de esta banda son las pequeñas. Matemáticamente, una antena $\lambda/4$ tiene una longitud de:

$$\frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} = 0.05172 \text{ m} \quad \frac{5.172}{4} = 1.293 \text{ cm}$$

Por tanto, las antenas son más pequeñas y se podrá conseguir una mayor ganancia.

e) REQ-5 Frecuencia: La banda de 5.8GHz se trata de una banda ISM, por lo que se puede transmitir sin pedir la autorización previa tal y como se ha mostrado anteriormente, pero estos equipos exceden la potencia máxima de la banda.

Analizando las cinco restricciones, se trata de una banda que electromagnéticamente aún no está saturada, no hay que pagar ningún canon para su uso, aunque se excede la potencia máxima permitida, además los transmisores están diseñados para vuelo en drones, lo que hace que sean muy pequeños, de poco peso y bajo consumo.

Con los conocimientos adquiridos con la anterior suelta, se sabe que la contaminación electromagnética puede jugar una mala pasada, por lo que esta banda es la elegida para el video. En el siguiente capítulo se analizará más a fondo dos de los transmisores elegidos para realizar pruebas, así como diferentes antenas y receptores.

Visualmente se ha propuesto una tabla resumen con las restricciones respecto a cada una de las bandas estudiadas.

	Potencia	Batería	Masa	Dimensiones	Frecuencia
TDT	✓	✗	✗	✗	✗
1,2GHz	✓	✓✗	✓✗	✓✗	✗
2,4GHz	✓	✓✗	✓✗	✓	✗
5,8GHz	✓	✓✗	✓	✓	✗

Tabla 2: Tabla-resumen restricciones/banda video

3.2 Estudio mercado transmisores de telemetría

La telemetría es una parte muy importante de cualquier sistema, y más en este tipo de aplicaciones por las características peculiares mencionadas en el *capítulo uno*. Por tanto la recolección de los datos que proporcionen los diversos sensores deben ser enviados a tierra de forma satisfactoria.

Siguiendo la quinta restricción del *capítulo 2*, en cuanto a la frecuencia de trabajo del sistema no está definida, por tanto se va a realizar el análisis del mercado para encontrar la mejor solución para dicho cometido en cuanto a equipos y frecuencia de trabajo.

Habitualmente en España se comercializan equipos para la transmisión de telemetría en las bandas de **433MHz, 868MHz y 915MHz**, por lo que se va a realizar un estudio legislativo en dichas frecuencias y el análisis del balance de potencia del enlace.

Todos los sistemas que se van a proponer su modulación va a ser digital, esto es debido a que el entorno en el cual se trabajará tiene mucho ruido, por lo que se deben tener mecanismos para la corrección de errores y asegurarse que la información que llega a tierra es la correcta. Además, en digital puedes realizar más funciones en cuanto al control de los parámetros de la trama y obtener más información adicional con el RSSI.

3.2.1 Análisis contaminación electromagnética

En todo sistema cuando se plantea en que banda de trabajo va a funcionar, previamente debe realizarse el análisis de saturación electromagnética, como se ha indicado en la parte de video. Para dicho estudio se va a utilizar el SDR y el software SDRSharp para el análisis de las frecuencias de 433MHz, 868MHz y 915MHz.

A continuación se muestra un ejemplo desde la EPS de Alcalá de cómo debe realizarse dicho análisis.

En primer lugar, se realiza el análisis en 433MHz, obteniendo el siguiente resultado:

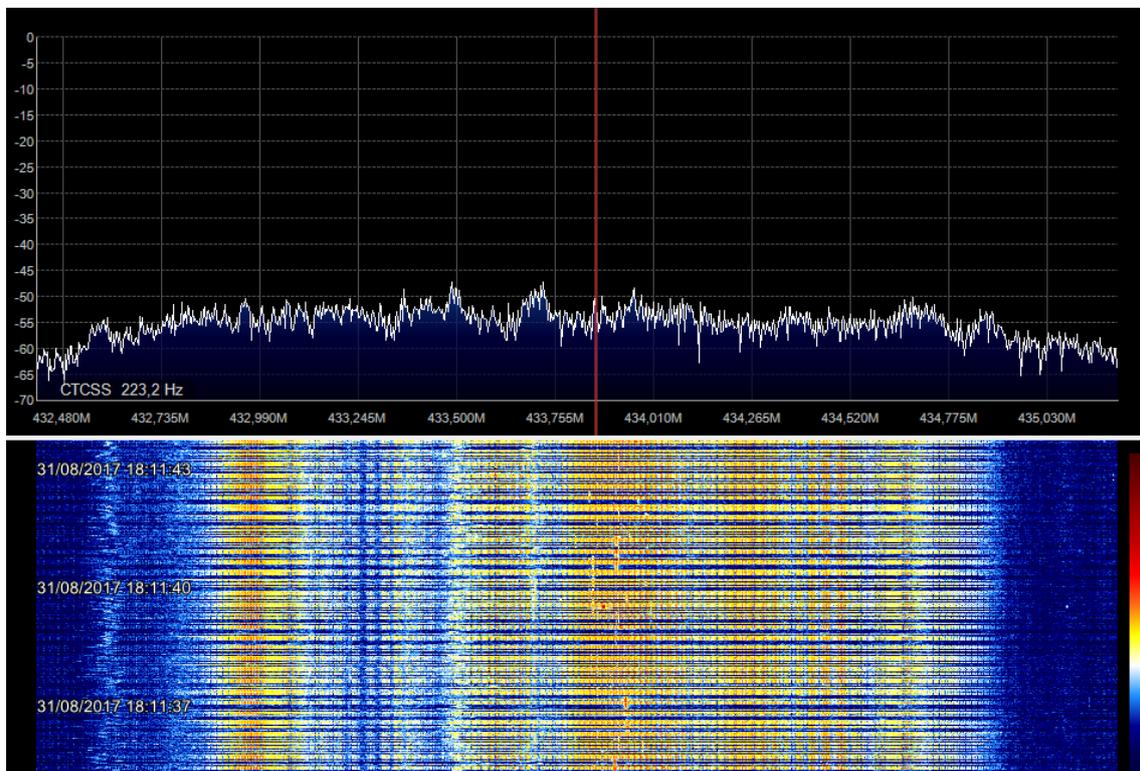


Figura 10: Análisis espectral 433MHz

Se observa como hay unas líneas interferentes, concretamente están producidas por un inhibidor que se encuentra situado en la cárcel de Alcalá-Meco. Por lo que si se quiere montar un sistema en esta banda hay que tenerlo en consideración, ya que podría ser un gran impedimento cada mandar la información.

Además, remarcar que esta es una banda muy utilizada en alarmas, en transmisores para apertura de puertas remotamente, para garajes, etc.

La siguiente frecuencia de telemetría para su análisis es *868MHz*.

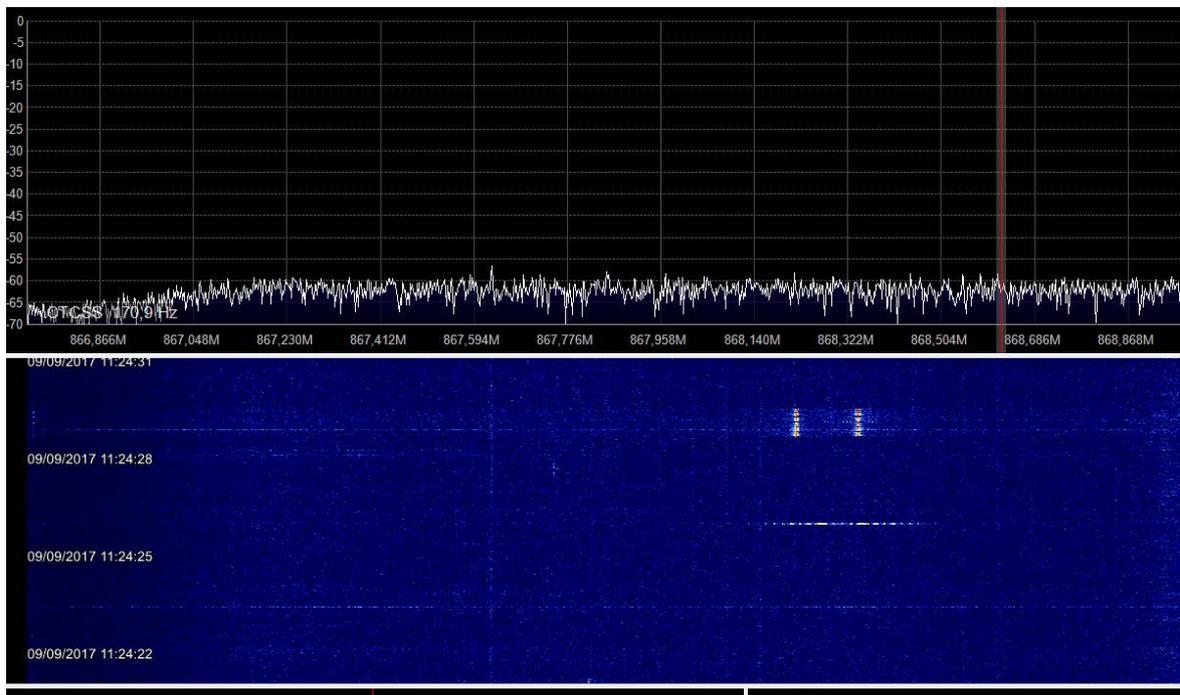


Figura 11: Análisis espectral 868MHz

Se observa como esta banda está mucho más despejada que la anterior en cuanto a interferencias como a dispositivos transmitiendo en ella. Es típico que ciertos modelos de estaciones meteorológicas funcionen en este segmento.

Por último el análisis se debe realizar a la banda de *915MHz*. Esta frecuencia se encuentra muy cerca de la banda GSM. Se observa como no hay interferencias con un nivel de ruido relativo a -60dB, por lo que para realizar transmisiones en esta banda no se debe tener ninguna consideración especial en cuanto al tratamiento de interferencias.

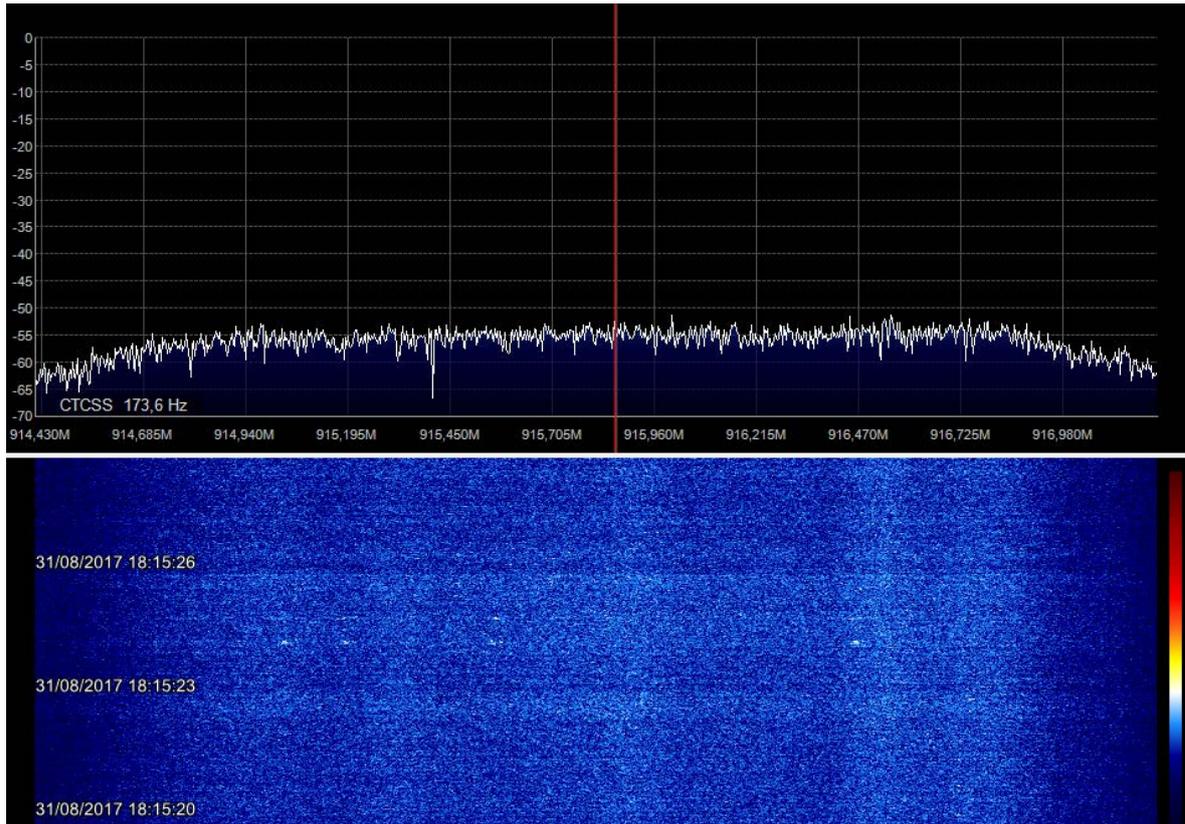


Figura 12: Análisis espectral 915MHz

3.2.2 Legislación banda de frecuencias

Se va a proceder al análisis de la legislación vigente en España, a través del CNAF, sobre el uso de las bandas de **433MHz**, **868MHz** y **915MHz** en el envío de telemetría.

433MHz

La banda de **433MHz**, en España se rige por la norma dentro del CNAF de **UN-30**.

Esta banda está atribuida a los servicios de aficionados y de radiolocalización, por lo que en estas frecuencias no se autorizan usos de otros servicios, con la salvedad de los indicados en la nota UN-30.

En la banda 433,050-434,790 MHz (Frecuencia central 433,920 MHz), de conformidad con la Decisión de la Comisión 2011/829/UE por la que se modifica la Decisión 2006/771/CE sobre la armonización del espectro radioeléctrico para su uso por dispositivos de corto alcance, así como la Recomendación 70-03 de la CEPT, se

permite con la consideración de uso común, la utilización de dispositivos no específicos de corto alcance (SRD), bajo las siguientes características:

Banda de frecuencias	Potencia	Canalización	Notas
433,050-434,790 MHz	1 mW p.r.a. -13 dBm/10 kHz	No se define	Se excluyen aplicaciones de audio y vídeo. Se permiten aplicaciones de voz con técnicas de mitigación avanzadas.
433,050-434,040 MHz	10 mW p.r.a.	No se define	Ciclo de trabajo $\leq 10\%$ Se excluyen aplicaciones de audio y vídeo.
434,040-434,790 MHz	10 mW p.r.a.	No se define	Ciclo de trabajo $\leq 10\%$ Se permiten aplicaciones de voz con técnicas de mitigación avanzadas.
434,040-434,790 MHz	10 mW p.r.a.	25 kHz	Se excluyen aplicaciones de audio y vídeo. Se permiten aplicaciones de voz con técnicas de mitigación avanzadas.

Figura 13: CNAF 433MHz

Por tanto, la frecuencia 433MHz está dentro del segmento con título primario a la banda de radioaficionados, por lo que tiene unas características limitadas para aplicaciones que no son de radioaficionados, limitando la potencia a **10mW**. Utilizando la licencia de radioaficionado se puede exceder las limitaciones anteriormente mostradas pudiendo transmitir una mayor potencia.

868MHz

La banda de 868MHz, en España se rige por la norma dentro del CNAF de **UN-39** diciendo textualmente:

Esta banda se destina para aplicaciones de baja potencia y de datos en general de conformidad con la Decisión de la Comisión 2011/829/UE por la que se modifica la Decisión 2006/771/CE sobre la armonización del espectro radioeléctrico para su uso por dispositivos de corto alcance, así como la Recomendación 70-03 de la CEPT, conforme a la siguiente clasificación de dispositivos.

Dispositivos de baja potencia no específicos para aplicaciones genéricas: 868,000 - 868,600 MHz con 25 mW (p.r.a.) de potencia radiada aparente máxima. Estos dispositivos deberán utilizar técnicas de acceso y mitigación de interferencias con rendimiento al menos equivalente a las técnicas descritas en las normas armonizadas según la Directiva 1999/5/CE, o alternativamente no sobrepasar el 1% de ciclo de trabajo. Se excluyen las aplicaciones analógicas de video.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

868,700 - 869,200 MHz con 25 mW (p.r.a.) de potencia radiada aparente máxima. Estos dispositivos deberán utilizar técnicas de acceso y mitigación de interferencias con rendimiento al menos equivalente a las técnicas descritas en las normas armonizadas según la Directiva 1999/5/CE, o alternativamente no sobrepasar el 0,1% de ciclo de trabajo. Se excluyen las aplicaciones analógicas de video.

869,400 - 869,650 MHz con 500 mW (p.r.a.) de potencia radiada aparente máxima y 25 kHz de canalización, si bien pudiera utilizarse toda la banda como canal único de datos a alta velocidad. Estos dispositivos deberán utilizar técnicas de acceso y mitigación de interferencias con rendimiento al menos equivalente a las técnicas descritas en las normas armonizadas según la Directiva 1999/5/CE, o alternativamente no sobrepasar el 10% de ciclo de trabajo.

Por lo tanto, no deben superarse los 25mW en el primer segmento de la banda y 500mW en el segundo.

915MHz

La banda de 915MHz, en España se rige por la norma dentro del CNAF de **UN-40** diciendo textualmente:

Se destinan las subbandas 870-876 MHz y 915-921 MHz, para sistemas de comunicaciones móviles en grupo cerrado de usuarios, incluyendo sistemas digitales de banda ancha, en particular las tecnologías previstas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC(04)06 y otros sistemas que requieran mayor ancho de banda. Las condiciones técnicas de uso de estas bandas de frecuencias se establecerán conforme a criterios de compatibilidad radioeléctrica armonizados y a las previsiones de desarrollo de los servicios de comunicaciones móviles a nivel nacional.

3.2.3 Balance potencia del enlace

Un punto importante en todo diseño radioeléctrico es el balance de potencia del enlace, ya que es el encargado de indicar si la comunicación será fructífera o no. Para ello, se muestran varias gráficas, la primera hace referencia a las pérdidas por espacio libre y la segunda a la potencia necesaria para cubrir la distancia impuesta según frecuencias.

Para realizarlo, se ha utilizado la herramienta matemática MATLAB, en la cual se ha programado un script para la representación.

La primera de las imágenes, son las pérdidas por espacio libre respecto a la distancia. Para su cálculo se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$L_{bf} (dB) = 32,4 + 20 \log (f) + 20 \log (d), f \text{ en MHz, } d \text{ en Km.}$$

El script está preparado para la representación de las tres frecuencias de transmisión de telemetría estudiadas en el texto.

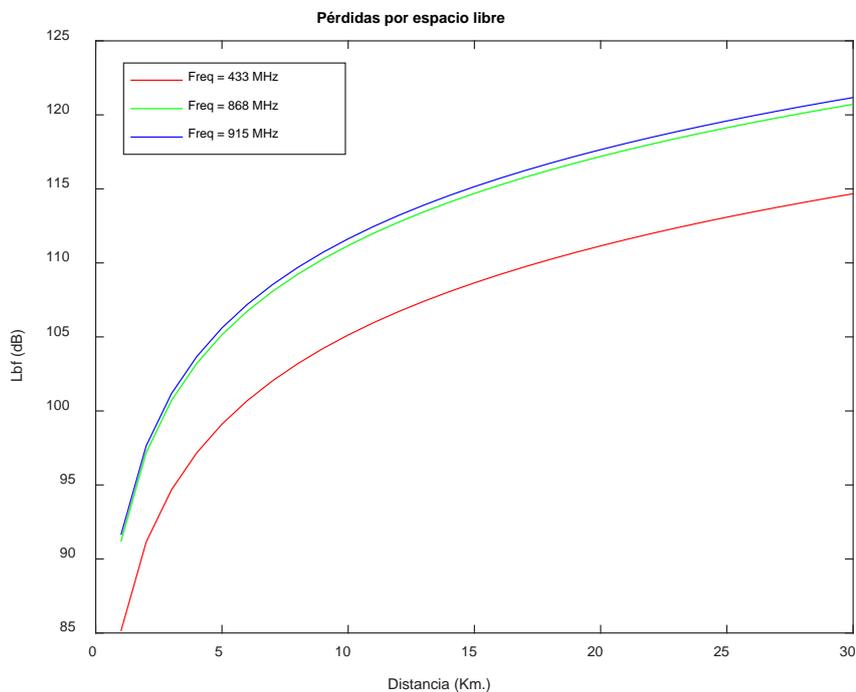


Figura 14: Pérdidas LBF – frecuencia - Video

Analizando la figura, como ya es sabido, a mayor frecuencia mayores pérdidas LBF. Claramente 433MHz tiene menos pérdidas respecto a las otras dos frecuencias que prácticamente comparten el mismo valor, por lo que 433MHz sería más idónea.

La siguiente de las imágenes se trata de la distancia máxima respecto la potencia y dependiendo de la banda de frecuencias a utilizar. En este punto, hay que considerar tanto los transmisores, como las antenas y los receptores. Por tanto, se debe analizar variando según corresponda en cada banda las ganancias de las antenas (media de las antenas del mercado) y sensibilidades de los receptores.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

En la tabla resumen se muestran los valores utilizados para la simulación:

Banda	Gan. ant. TX (dB)	Gan. Ant. RX. (dB)	Sensibilidad RX. (dBm)
433 MHz	2	5	-110
868 MHz	2	6	-106
915 MHz	3	6	-102

Tabla 3: Resumen ganancias por banda telemetría

Para la realización en MATLAB de la gráfica, se ha utilizado la fórmula del balance de potencia del enlace despejando la potencia de transmisión y se ha variado la distancia.

$$Pot_TX = Sensibilidad + Pérdidas_TX - Ganancia_TX + LBF - Ganancia_RX + Pérdidas_RX$$

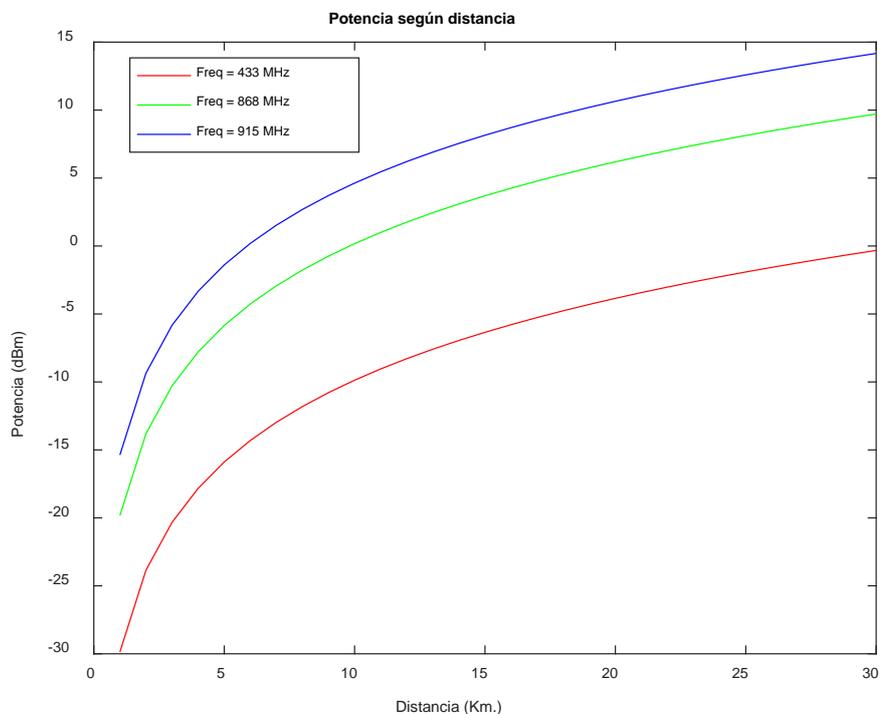


Figura 15: Potencia – distancia – frecuencia - Telemetría

Analizando la figura, se obtiene que para una frecuencia de **433MHz** con una potencia de **0dBm** sería suficiente, para **868MHz** se necesitarían **10dBm** mientras que para **915MHz** un total de **15dBm**.

El siguiente de los pasos, consiste en realizar una búsqueda en el mercado de las diferentes tecnologías que se ajusten a las restricciones y realizar el análisis de cuál es la más idónea.

3.2.4 Pre-búsqueda

Una vez conocido como afectan las diferentes pérdidas por espacio libre y la potencia mínima requerida por cada banda, se van a analizar distintas alternativas, concretamente tres, para la transmisión de la telemetría.

Moteino

El primero de los transmisores de telemetría que va a ser analizado es el *Moteino*. Se ha elegido el estudio de esta opción debido a que previamente en el SRG se había probado para otro tipo de inventos.

Este dispositivo, está basado en *Arduino*, concretamente está provisto de un **microcontrolador Atmel ATmega328P o ATmega1284P**, dependiendo del modelo a usar, Moteino o Moteino MEGA (mayor capacidad).

Existen varios tipos de placas que pueden ser utilizadas con este sistema Moteino dependiendo de la forma de acceso a la programación. Una es a través de unos pines de FTDI y la otra forma es a través de un conector mini USB.

A continuación se muestra aun ejemplo de cómo son este tipo de placas con su pinout.

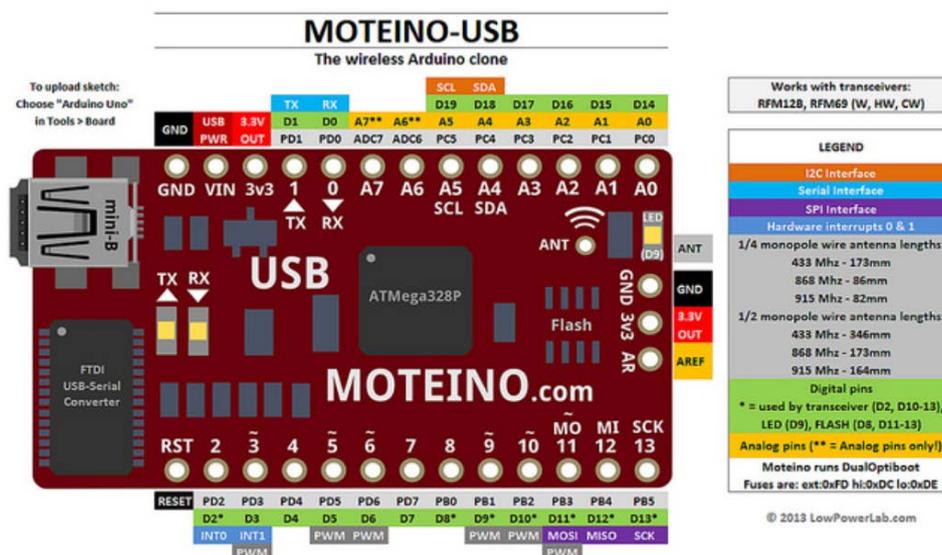


Figura 16: Pinout Moteino USB

Moteino tiene por detrás un número importante de usuarios, los cuales proporcionan distintas librerías y ayudas para la realización de los programas necesarios. Lo que lo convierte en una alternativa viable para el proyecto.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

Para la transmisión de los datos, dentro de la gama de productos, dispone de varios modelos de módulos atendiendo a las características de diferentes potencias de transmisión y las bandas de frecuencias, los cuales son insertados en la placa, tanto en la FTDI como en la USB.

A continuación se muestran alguno de ellos:

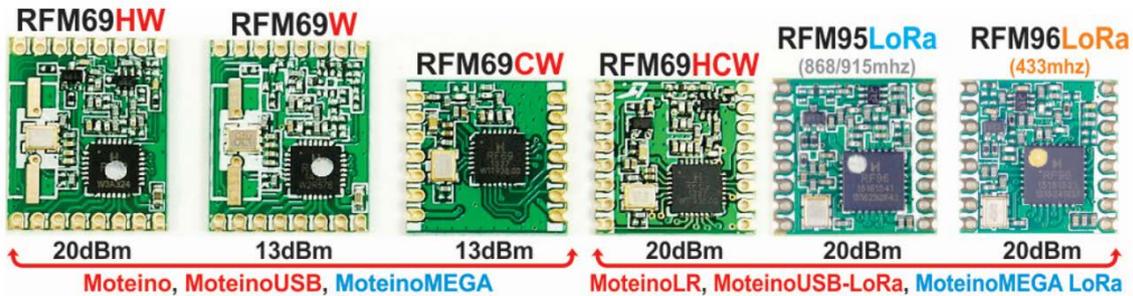


Figura 17: Transmisores Moteino

Para saber si estos dispositivos cumplen con todas las restricciones impuestas se van a analizar los cinco puntos claves.

- a) **REQ-1 Potencia:** Según lo indicado, dependiendo del módulo elegido, así será su potencia, pero la máxima sería de 20dBm, 100mW, por tanto no se excede en ningún caso.
- b) **REQ-2 Duración batería:** Dependiendo del transmisor tendrá un consumo u otro, pero siempre por debajo de las especificaciones, por ejemplo con 20dBm, en TX el consumo sería de 130mA y en el RX. 16mA, además en modo dormido (no siempre se TX. información) solamente tiene un consumo de 2uA.
- c) **REQ-3 Masa:** Para el Moteino USB, la masa es de 5 gramos incluyendo la antena.
- d) **REQ-4 Dimensiones:**
 - a. Las dimensiones de estos modelos se ajustan muy bien a las restricciones, ya que el Moteino estándar tiene unas dimensiones de 3.3 cm x 2.23 cm, por lo que es un dispositivo pensado para aplicaciones con espacio reducido.
 - b. Dimensiones antena: Dependiendo de la frecuencia, el dipolo tendrá unas dimensiones u otras. Matemáticamente, una antena lambda /4:

$$\underline{433\text{MHz}} \rightarrow \frac{3 \times 10^8}{433 \times 10^6} = 0.6928 \text{ m} \frac{69.28}{4} = 17.32 \text{ cm}$$

$$\underline{868\text{MHz}} \rightarrow \frac{3 \times 10^8}{868 \times 10^6} = 0.3456 \text{ m} \frac{69.28}{4} = 8.64 \text{ cm}$$

$$\underline{915\text{MHz}} \rightarrow \frac{3 \times 10^8}{915 \times 10^6} = 0.3278 \text{ m} \frac{69.28}{4} = 8.19 \text{ cm}$$

- e) **REQ-5 Frecuencia:** Dependiendo del módulo puede transmitir en 433MHz, 868MHz y 915MHz. En las dos primeras bandas sí que es posible la transmisión de datos con las limitaciones mencionadas anteriormente, mientras en 915MHz no es posible. En 433MHz por ser frecuencia de radioaficionados y utilizando la licencia se puede transmitir los 20dBm sin restricciones.

Como se ha descrito, este tipo de dispositivos son muy versátiles en cuanto a la colocación del módulo de transmisión, de forma que puedes adaptar la potencia y la banda de trabajo de una forma muy rápida, por lo que son compatibles con las tres bandas analizadas. Por contra, Moteino requiere una mayor programación, ya que todas las acciones y transferencia de información que se quiera realizar deben programarse, lo que aumenta la dificultad de estos dispositivos y los hacen menos flexibles y menos escalables. Por todo ello, a pesar de que si cumplen las restricciones, se va a analizar otras tecnologías.

LoraWaN

El siguiente de los sistemas a analizar va a ser **Lorawan**. Se ha decidido su estudio porque se trata de una tecnología que está creciendo, implantándose en el **mundo IoT** y dispone de tres clases diferentes con posibilidades de **comunicaciones bidireccionales**.

Este sistema sigue unas especificaciones reguladas por la LORA Alliance, la cual pretende crear una red de baja potencia y de área amplia del tipo WAN, para la interconexión de dispositivos de bajo consumo creando redes locales, regionales nacionales o incluso globales.

Este tipo de redes han sido creadas a partir del nacimiento del internet de las cosas, ya que requieren bajo consumo de energía, bajas velocidades de datos, bajas frecuencias de transmisión, movilidad, localización, comunicaciones seguras y bidireccionales, para la interconexión de todo sin disponer de grandes instalaciones locales complejas y permitiendo libertad al desarrollador.

La velocidad que puede alcanzar este tipo de sistemas, oscila entre los 0.3 kbps a 50 kbps. El servidor de LoRaWAN realiza un compromiso entre velocidad y duración de la batería, de forma que se produzca un esquema adaptativo conocido como ADR (Adaptive Data Rate).

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

Existen varios tipos de dispositivos LORAWAN atendiendo a sus características, concretamente existen tres clases que a continuación se detallan.

Clase A

Este tipo de dispositivos están pensados para una comunicación bidireccional pero con la característica que solo se pueden recibir los datos de downlink si antes se ha enviado datos en el nodo ascendente uplink.

Esta clase está pensada para dispositivos cuyas características impliquen un muy bajo consumo y que la transmisión de datos no sea en un intervalo muy bajo de tiempo.

Además, todo dispositivo que siga el estándar de LoRaWAN debe implementar esta clase.

Clase B

La siguiente de las clases a analizar también es bidireccional, pero se diferencia de la anterior en que esta para recibir los datos en el downlink no es necesario enviar previamente información en el enlace ascendente uplink. Esta nueva faceta permite transmitir información a los dispositivos de forma programada.

Para que se pueda realizar esto, es necesario el envío periódico de una serie de balizas beacons que permiten la sincronización con el Gateway para la negociación.

La clase B tiene un mayor consumo de energía que la anterior debido a esas beacons.

Clase C

Los dispositivos de esta clase permiten mantener una ventana abierta para la recepción continua de datos salvo cuando se estén enviando datos en el uplink.

La Clase C permite aumentar la capacidad de envío desde el servidor a los diferentes dispositivos de forma que se mejore el tiempo de respuesta pero por el contrario el consumo energético es mayor.

Una de las desventajas para este tipo de aplicaciones donde el peso está muy limitado es que el sistema debe ser integrado con una placa controladora como es el caso de Raspberry Pi, Arduino y libelium.

Para saber si estos dispositivos cumplen con todas las restricciones impuestas se van a analizar los cinco puntos claves.

- a) **REQ-1 Potencia:** Este tipo de dispositivos tiene una potencia superior a los 14dBm, por tanto muy inferior a los 250mW.
- b) **REQ-2 Duración batería:** Dependiendo de la clase utilizada se tendrá un consumo u otro, pero todos ellos muy bajos. Por ejemplo, un transmisor de la clase A tendría un consumo de 38,9 mA.
- c) **REQ-3 Masa:** Debido a la integración de la placa transmisora con el microcontrolador, el peso se excede de los 30g.
- d) **REQ-4 Dimensiones:**
 - a. Debido a la integración de la placa transmisora y el microcontrolador, las dimensiones se exceden.
 - b. Dimensiones antena: Dependiendo de la frecuencia, el dipolo tendrá unas dimensiones u otras. Matemáticamente, una antena $\lambda/4$:

$$\underline{433\text{MHz}} \rightarrow \frac{3 \times 10^8}{433 \times 10^6} = 0.6928 \text{ m} \frac{69.28}{4} = 17.32 \text{ cm}$$

$$\underline{868\text{MHz}} \rightarrow \frac{3 \times 10^8}{868 \times 10^6} = 0.3456 \text{ m} \frac{69.28}{4} = 8.64 \text{ cm}$$

- e) **REQ-5 Frecuencia:** Dependiendo del módulo puede transmitir en 433MHz y 868MHz. En estas bandas sí que es posible la transmisión de datos con las limitaciones mencionadas anteriormente. En 433MHz por ser frecuencia de radioaficionados y utilizando la licencia se puede transmitir los 14dBm sin restricciones.

Tras el análisis de todas las características de estos dispositivos, en un primer lugar se podía plantear que si eran válidos por las grandes características de bidireccionalidad, bajo consumo e integración en redes más grandes. Pero tras el análisis más a fondo se ha determinado que no son factibles debido al exceso de dimensiones y masa. Es necesario el estudio de un tercer sistema.

3dr radio

La última de las propuestas de telemetría es la utilización de unas radios, concretamente 3dr radio, cuyo uso principal está en el campo del aeromodelismo para el envío de información. Se ha decidido su estudio debido a la creciente implantación de estos dispositivos en los drones y a su buen rendimiento. Otro punto a favor, es que ya dispone de una programación de una UART para la transmisión de la información, por lo que la programación es más fácil. También se debe tener en cuenta que son dispositivos con capacidad bidireccional.

Existen dos tipos de modelos de este módulo de telemetría, está la versión 1 y la 2. Además, se comercializan en dos bandas de frecuencia, en 433MHz y en 915MHz con una potencia de hasta 100mW y hay un modelo especial de largo alcance que es capaz de alcanzar los 500mW.

Este tipo de transmisores tienen implementado un protocolo de comunicación llamado MAVLink. Este protocolo está diseñado para el intercambio de información entre la estación de control en tierra y las aeronaves. A continuación se observa como es la trama que se utiliza, en la que se observa un inicio, un indicador de longitud de trama, el número de secuencia, el ID del sistema, el ID del componente, el ID del mensaje, el payload y por último el checksum.

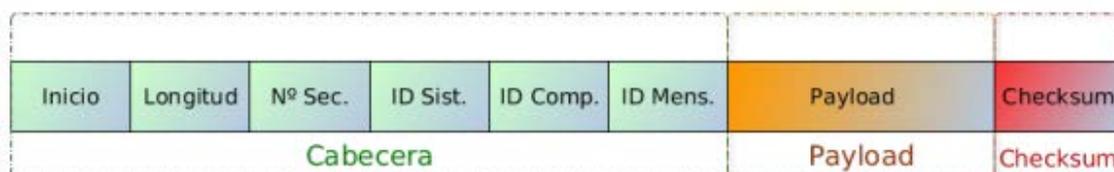


Figura 18: Trama MAVLink

Otro punto a favor es que existe una actualización de firmware que permite realizar una comunicación punto a multipunto de forma que se puedan tener varios receptores. También este firmware implementa una opción de repetidor entre los dispositivos 3dr.

Para saber si estos dispositivos cumplen con todas las restricciones impuestas se van a analizar los cinco puntos claves.

- a) **REQ-1 Potencia:** Este tipo de dispositivos tiene una potencia máxima de 20dBm que puede ser configurada en pasos de 1dB, por tanto muy inferior a los 250mW.

b) **REQ-2 Duración batería:** Dependiendo de la versión utilizada se tendrá un consumo u otro. Por ejemplo, un transmisor de la clase 2 tendría un consumo de 100 mA, por lo que la duración de la batería superaría las 3horas.

c) **REQ-3 Masa:** La masa del transmisor es de 14 gramos.

d) **REQ-4 Dimensiones:**

a. Las dimensiones del dispositivos transmisor son: 5.5cm x 2.5cm x 1cm, por lo que se ajusta perfectamente.

b. Dimensiones antena: Dependiendo de la frecuencia, el dipolo tendrá unas dimensiones u otras. Matemáticamente, una antena lambda /4:

$$\underline{433\text{MHz}} \rightarrow \frac{3 \times 10^8}{433 \times 10^6} = 0.6928 \text{ m} \frac{69.28}{4} = 17.32 \text{ cm}$$

$$\underline{915\text{MHz}} \rightarrow \frac{3 \times 10^8}{915 \times 10^6} = 0.3278 \text{ m} \frac{69.28}{4} = 8.19 \text{ cm}$$

e) **REQ-5 Frecuencia:** Existen dos modelos en cuanto a frecuencia, el transmisor de 433MHz y el de 915MHz. De estos dos modelos solamente se podría transmitir en 433MHz de forma legal.

Tras el análisis de todas las características de estos dispositivos, en un primer lugar se puede determinar que cumplen con todos requisitos impuestos, además de la opción de comunicación bidireccional y por la flexibilidad y la escalabilidad del sistema los hacen aptos para su uso.

En el siguiente capítulo, se analizará en más detalle este sistema realizando pruebas reales.

Para finalizar el capítulo, se ha realizado una tabla resumen de forma que permita ver cada uno de los dispositivos respecto a las restricciones para saber si las cumplen o no.

	Potencia	Batería	Masa	Dimensiones	Frecuencia	Programación
Moteino	✓	✓	✓	✓	✓	✗
LoRa	✓	✓	✗	✗	✓	✓
3dr radio	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4: Tabla-resumen restricciones/banda telemetría

Capítulo 4

Propuesta técnica

En los capítulos anteriores se ha ido analizando cómo llegar a la elección correcta de los dispositivos a través de la pre búsqueda tanto para la parte de video como para la parte de telemetría, así como sus antenas, tanto el segmento terrestre como en el aéreo, y de los receptores. En este capítulo, se van a analizar de forma concreta dichos dispositivos con pruebas reales para asegurarse que el funcionamiento sea el correcto según lo marcado y así poder avalar la propuesta.

4.1 Video

Debido a todos los factores de potencia, masa, duración de batería, dimensiones, frecuencia y congestión electromagnética se llegó a la conclusión en el *capítulo 3* que la mejor banda para la transmisión de la señal de video es 5.8GHz.

A través del balance de potencia del enlace, se ha llegado a la conclusión de probar de forma real dos equipos y utilizar dos modelos de antenas diferentes. Se trata del **transmisor de 1W** de la banda **5.8GHz** y el de **2W** de la misma banda. Las antenas elegidas son la **Realacc 5dBi** y la **Aomway de 11dBi**, ambas con polarización circular a derecha RHCP. En cuanto al receptor se han seleccionado dos para realizar las pruebas, uno con función diversity a dos antenas, modelo **FR 632**, con capacidad de recepción de hasta 48 canales y también el receptor simple **RC 805**.

4.1.1 Equipos

Transmisor de 1W

El transmisor de 1W de potencia se trata de un modelo de OCDAY de 40 canales.



Figura 19: Transmisor 5.8GHz 1000mW

A continuación es mostrado el datasheet con las principales características del transmisor facilitadas por el fabricante.

Potencia de TX	1000 mW
Voltaje	7 – 27V
Consumo corriente	220 mA
Dimensiones	6 x 31 x 10 mm
Peso	33 g
Temperatura de trabajo	-10 -> 85
Rango de frecuencias	5645-5945MHz
Nº de canales	40
Ancho de banda	8 MHz
Toma	RP-SMA
Formato de video	NTSC/PAL
Precio	16.85€

Tabla 5: Datasheet Transmisor 5.8GHz 1000mW

Transmisor de 2W

El otro transmisor es de 2W de potencia con un total de 8 canales.



Figura 20: Transmisor 5.8GHz 2000mW

A continuación es mostrado el datasheet con las principales características del transmisor facilitadas por el fabricante.

Potencia de TX	2000 mW
Voltaje	7-15 V
Consumo corriente	900 mA
Dimensiones	6 x 3 x 2,5 cm
Peso	59 g
Temperatura de trabajo	-10 -> 85
Rango de frecuencias	5645-5945MHz
Nº de canales	8
Ancho de banda	8 MHz
Nivel de video de entrada	0,5 -->2 Vpp
Impedancia de video de entrada	75 Ohm
Formato de video	NTSC/PAL
Nivel de audio de entrada	2 Vpp
Impedancia de audio de entrada	10 kOhm
Precio	TX + RX 35,27€

Tabla 6: Datasheet Transmisor 5.8GHz 2000mW

Antena Realacc 5 dBi

Este tipo de antenas ofrece una ganancia de 5dBi y ofrece una polarización circular tanto a derechas como a izquierdas, previo encargo y tiene la posibilidad de que el conector sea SMA o RP-SMA.



Figura 21: Antena Realacc 5.8GHz

Las características técnicas se detallan a continuación:

Frecuencia	5,8 GHz
Ganancia	5 dBi
Diag. Radiación	Omnidireccional
Polarización	Circular
Pot. Máxima	50 W
Impedancia	50
Peso	8,6 g
Dimensiones	78 x 22 mm

Tabla 7: Datasheet Antena Realacc 5.8GHz

Antena Aomway 11dBi

Este tipo de antena es de alta ganancia, concretamente de 11dBi. Dispone de una polarización circular del tipo RHCP.



Figura 22: Antena Aomway 11dBi 5.8GHz

Las características técnicas se detallan a continuación:

Frecuencia	5645-5945Mhz
Ganancia	11 dBi
Diag. Radiación	Onmidireccional
Polarización	RHCP
Impedancia	50
Peso	10 g
Dimensiones	71 x 22 mm

Tabla 8: Datasheet Antena Aomway 11dBi 5.8GHz

Receptor FR632

Este receptor está preparado para recibir una frecuencia con cada uno de sus dos receptores, de forma que es capaz de identificar cuál de las dos señales llega con mejor SNR y proporcionar una salida.



Figura 23: Receptor diversity FR632 5.8GHz

Las características técnicas se detallan a continuación:

Sensibilidad	-92dbm (15dbuv)
Voltaje de entrada	+ 6.0V ~ + 28.0v
Consumo de potencia	130 mA
Dimensiones	78x68x15mm
Peso	92g
Temperatura de trabajo	-10 ~ +85
Frecuencia RX	5.6GHz-5.95GHz
Nº canales	40
Impedancia de entrada video	75
Sistema de video	PAL / NTSC / SECAM (automático)

Tabla 9: Datasheet Receptor diversity FR632 5.8GHz

En cuanto al margen de frecuencias que es capaz de recibir este receptor son:

FR1 (MHz)	5865 5845 5825 5805 5785 5765 5745 5725
FR2 (MHz)	5733 5752 5771 5790 5809 5828 5847 5866
FR3 (MHz)	5705 5685 5665 5645 5885 5905 5925 5945
FR4 (MHz)	5740 5760 5780 5800 5820 5840 5860 5880
FR5 (MHz)	5658 5695 5732 5769 5806 5843 5880 5917

Tabla 10: Rango frecuencias Receptor diversity FR632 5.8GHz

Siendo capaz de recibir los 48 canales en los que está dividida la banda para la transmisión de video.

Receptor RC805

Se trata de un receptor con 8 canales, dispone de dos salidas AV para su visualización.



Figura 24: Receptor RC805 5.8GHz

A continuación es mostrado el datasheet con las principales características del receptor facilitadas por el fabricante.

Rango freq. RX	5645-5945MHz
Sensibilidad	-90 dBm
Voltaje de entrada	12 V
Consumo	150 mA
Dimensiones	72,5 x 54 x 15,5mm
Peso	52 g

Tabla 11: Datasheet Receptor FC805 5.8GHz

4.1.2 Pruebas reales

Para avalar la propuesta, se van a realizar las comprobaciones reales. Las pruebas se han realizado en los estudios centrales de Televisión Alcarreña, en Brihuega, en un primer lugar en una mesa de trabajo se realizaron los ajustes necesarios para adaptar las conexiones de video de los transmisores al conector RCA que lleva incorporada la cámara. También, se conectaron los receptores a las televisiones y se probó a poca distancia que todo funcionaba de forma correcta.

El siguiente paso fue realizar pruebas en la calle, para ello que colocó el receptor diversity en el balcón del edificio con dos modelos de antenas diferentes y una batería de 850mAh. Se obtuvieron estos resultados.

Para el transmisor de 2W y la antena de 11dBi, se observa que a pesar de disponer de visión directa con el receptor, la señal varía mucho de forma que alejándose 30 metros se distorsiona. En el mapa puede apreciarse dicho efecto. Además la duración de la batería fue de alrededor de 1hora.



Figura 25: Mapa cobertura TX 2W

Para el transmisor de 1W y 11dBi de ganancia de la antena, se obtienen mejores resultados que en el anterior caso, ya que con visión directa la calidad de la imagen es correcta, aunque con el movimiento de vez en cuando se produzcan desvanecimientos. Solamente se empieza a perder la señal cuando ya no hay visión directa y es tapada por los edificios y por los árboles del parque. La duración de la batería fue de 1.30horas.



Figura 26: Mapa cobertura TX 1W

4.1.3 Decisión - Conclusión

Atendiendo a todas las pruebas y análisis realizados, se ha llegado a la conclusión que ambas soluciones para la transmisión de video en tiempo real son válidas como se muestra en la siguiente tabla, utilizando en el transmisor una antena Aomway de 11dBi de ganancia en el segmento aéreo, y un receptor FR632 con función diversity de dos antenas siendo una de ellas el modelo Aomway de 11dBi y la otra Realacc 5dBi.

	Potencia	Batería	Masa	Dimensiones	Frecuencia	Balance potencia
Transmisor 1W	✓	✗	✓ ✗	✓	✗	✓
Transmisor 2W	✓	✗	✓ ✗	✓	✗	✓

Tabla 12: Tabla-resumen transmisor video 1W/2W

En cuanto a la batería, se ha observado que no es capaz de aguantar las 3 horas mínimas requeridas con ninguno de los dos transmisores, ya que con el de 1W se tiene una disponibilidad de 1:30h, mientras que con el de 2W de 1h. Por tanto, se ha barajado la posibilidad de incluir una segunda batería de 850mAh en el globo para el video, lo que incrementaría el peso, por lo que se recurre a alimentar al transmisor con una de las powerbanks de las que dispone el globo.

Por todo ello, dado que ambas opciones son válidas, se elige el modelo de **1W** ya que su consumo es menor.

4.2 Telemetría

4.2.1 Equipos

En el capítulo anterior se analizaron tres de los sistemas de telemetría que podrían ser utilizados, obteniéndose como resultados que **Moteino y 3dr radio** cumplieran las 5 restricciones, pero este último disponía de una serie de ventajas adicionales que lo hacían más interesante.

En este sub apartado se van a detallar más concretamente las características de dichas radios a través de la hoja proporcionada por el fabricante.

Existen dos tipos de modelo de este módulo de telemetría, está la versión 1 y la 2. A continuación se van a presentar cada de sus principales diferencias.

La primera versión de este tipo de transmisor, era más básica, sin ningún tipo de recubrimiento para su protección. También es definido cuál debe ser el módulo tierra y cual el módulo de recepción terrestre.



Figura 27: Transceptor 3dr radio V1

A continuación se muestran las características técnicas de los dispositivos.

Pot. Máx.	20dBm --> 100mW
Sensibilidad RX.	-117dBm
Frecuencias	433 o 915 MHz
Velocidad máx.	250 kbps
Voltaje	3,7 - 6V
Consumo	500mA
Dimensiones aire	5,1 x 3 cm
Dimensiones suelo	7 x 25 cm
Peso aire	12 g
Peso suelo	15 g
Multiplexación	TDM
Espectro ensanchado	FHSS
Configuración	Remota
Firmware	Abierto

Tabla 13: Datasheet 3dr radio V1

Esta segunda versión es la más moderna de estos transmisores, ofrece una mayor protección a los módulos, ya que se les ha incluido una carcasa. Además, ya no se define un módulo para tierra y otro para el segmento aéreo, ahora ya ambos sirven para ambas configuraciones. Otra novedad, es que incluye un conector mini USB para la conexión por puerto serie además de los diferentes conectores APM y PIXHAWK.



Figura 28: Transceptor 3dr radio V2

A continuación se muestran las características técnicas del mismo pudiéndose observar que las variaciones son muy pequeñas, afectando principalmente al consumo.

Pot. Máx.	20dBm --> 100mW
Sensibilidad RX.	-117dBm
Frecuencias	433 o 915 MHz
Velocidad máx.	250 kbps
Voltaje	3,7 - 6V
Consumo	100mA
Dimensiones	5.5 cm x 2.5 cm x 1 cm
Peso	14 gramos
Multiplexación	TDM
Espectro ensanchado	FHSS
Configuración	Remota
Firmware	Abierto

Tabla 14: Datasheet 3dr radio V2

Por todo ello, el modelo elegido para la transmisión de la telemetría es el **3dr radio V2**. A continuación se van a realizar una serie de pruebas reales para avalar este estudio.

4.2.2 Pruebas reales

Antes de realizar las pruebas reales, es necesario conocer como debe ser la trama a transmitir. Si se analizan las restricciones en ninguna se indica la forma que debe llevar, por lo que se va a proponer un esquema que será extrapolable a la raspberry del globo.

Al no existir una trama se propone una cabecera de 6B que siempre sea la misma, concretamente EA4RKU. A continuación iría el payload codificado en ASCII, el cual tendrá un tamaño de 128B, de los cuales los 4 primeros sea un contador hexadecimal para indicar la secuencia. Después se propone un CRC para la comprobación del payload, de forma que se realice la operación XOR de cada uno de los bytes del palyload con su inmediato posterior y por ultimo un final de trama de 2B con las letras MP. En total serían 137B.

Se propone el siguiente mensaje de 137Bytes con el cual realizar pruebas de campo:

```
EA4RKU.0000mensajedepruebadetransmisiondesdeelglobohaciaelsegmentoter  
restre.transmitiendoconunaradio3drde100mwdepotencia.Probando. 0123456CMP
```

Codificado a formato ASCII se obtiene el siguiente resultado:

```
69 65 52 82 75 85 46 109 101 110 115 97 106 101 100 101 112 114 117 101 98 97 100  
101 116 114 97 110 115 109 105 115 105 111 110 100 101 115 100 101 101 108 103  
108 111 98 111 104 97 99 105 97 101 108 115 101 103 109 101 110 116 111 116 101  
114 114 101 115 116 114 101 46 116 114 97 110 115 109 105 116 105 101 110 100  
111 99 111 110 117 110 97 114 97 100 105 111 51 100 114 100 101 49 48 48 109 119  
100 101 112 111 116 101 110 99 105 97 46 80 114 111 98 97 110 100 111 46 32 48 49  
50 51 52 53 54 77 80
```

Una vez conocida la trama el siguiente paso es la configuración de los equipos para su transmisión.

En la siguiente imagen, se muestra el panel de configuración en el cual pueden ser variados los diferentes parámetros que ofrece el transmisor. Otra de las opciones para su configuración es la utilización de los comandos AT.



Figura 29: Configuración 3dr radio

Por la naturaleza de los datos, no es necesario un *baudrate* muy elevado, por lo que 9600 es un valor apropiado.

Este tipo de radio siempre tienen que estar comunicadas entre sí, ya que disponen de un protocolo por debajo que permite la corrección de errores y realizar el FHSS. El identificador que se ha utilizado es el 25 y la potencia máxima disponible es de 20dBm, siendo 100mW, por tanto NO es posible configurar la potencia que venía en las especificaciones ya que se trata de un equipo con 500mW de potencia de transmisión, ni por el lanzamiento de comandos AT.

Dependiendo de la zona de recepción, hay que elegir una serie de frecuencias en las cuales el nivel de interferencia sea el mínimo.

Además, es posible seleccionar el número de canales en los que se desea que se realice el salto y habilitar encriptación.

Para probar la cobertura, se ha diseñado un pequeño programa en Java emulando el transmisor y receptor. Dicho programa está dividido en tres códigos.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

1. El primero (Anexo 1.1) hace referencia al emisor, en el cual se encuentran todos los parámetros básicos de la configuración del puerto COM y el envío de las diferentes partes de la trama por separado.
2. El segundo (Anexo 1.2) hace referencia a la primera parte del receptor, ahí se encuentra la configuración del puerto COM y la interfaz gráfica para visualizar los datos.
3. El tercero (Anexo 1.3) hace referencia al protocolo implementado para la recepción de las señales y evitar fallos. Para realizarlo, se propone un sistema de reenganche que analice la información que es transferida por el puerto serie y sea capaz de identificar si la información es válida o no.

Una forma de realizarlo es analizando cómo debería ser la trama recibida según las especificaciones que se definieron, de modo que pueda identificarse cada una de las partes de *cabecera*, *payload*, *crc* y *fin de trama*. Si cada una de las partes llega de forma correcta se mostrara la información, en caso contrario se propone como solución limpiar el buffer dos veces por un tiempo de 50ms antes de volver a leer el puerto serie.

El siguiente paso es el análisis de la cobertura en tierra.

Radio de cobertura

Para la prueba en tierra de la comunicación entre las dos radios, se colocó una de ellas como transmisor en la parte alta de la localidad alcarreña de Brihuega, con una antena Diamond X50.

La parte receptora estaba compuesta por un vehículo con un ordenador y otra de las radios y con su antena original.

Las pruebas consistían en desplazarse por el campo para analizar hasta donde es capaz de recibirse la señal y decodificar el paquete sin errores.

La primera de ellas, consistió en circular por la carretera CM-2005 en dirección Yela. Hasta el cruce de Villaviciosa de Tajuña la comunicación fue perfecta. En la siguiente imagen se observa que es una distancia de 4.4km.

Avanzando por la misma, hay puntos con peor visibilidad y por tanto mayor dificultad para la recepción, pero en ciertos puntos si era posible la recepción.



Figura 30: 1º Prueba de cobertura 3dr radio

Otra de las pruebas realizadas, fue circular por la GU-925. Se trata de una carretera con mucho monte, pero en la posición mostrada se logró la comunicación, con una distancia de 7.1Km.

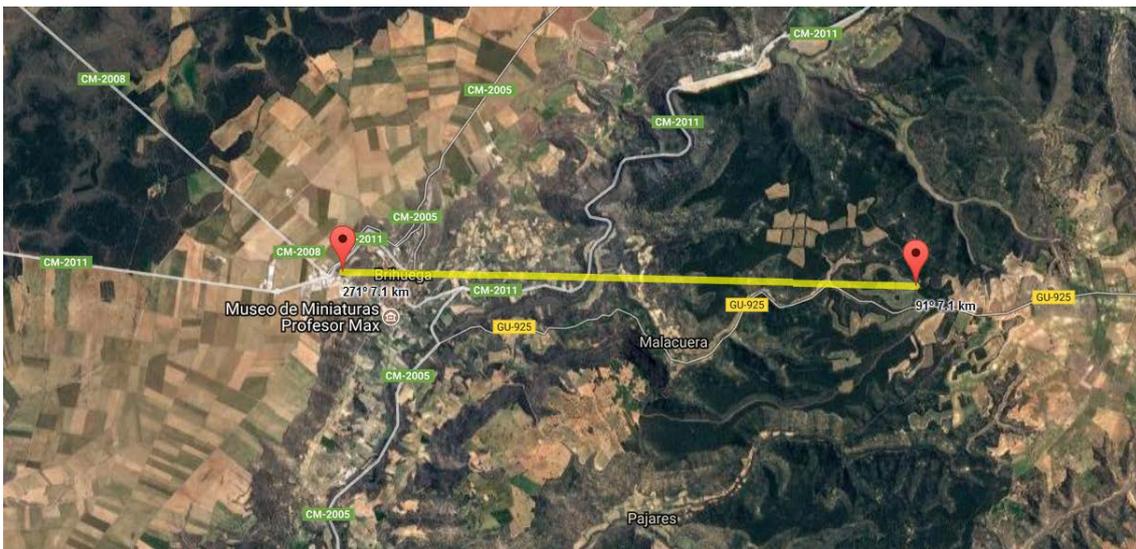


Figura 31: 2º Prueba de cobertura 3dr radio

4.2.3 Decisión – conclusión

Por todas las pruebas realizadas y dada la gran flexibilidad del transmisor – receptor, a su escalabilidad, comunicación bidireccional, protocolo MAVLink y facilidad de programación, las radio 3dr han sido elegidas para la transmisión de la telemetría en este proyecto.

Capítulo 5

Pruebas en vuelo y validación

Una vez decididos cuales van a ser los componentes que serán embarcados en el proyecto el siguiente paso es montar el globo y realizar las pruebas reales y globales para comprobar si todos los componentes funcionan sin interferirse entre sí y se mostrarán los resultados del lanzamiento.

5.1 Montaje globo

El montaje del globo es uno de los pasos más importantes y que debe realizarse con estricto cuidado para que todos los elementos embarcados se coloquen según la planificación previa, por ello, se va a detallar dicha colocación.

En un primer momento, la planificación de los diferentes pisos dentro del globo se ha decidido que sea la siguiente:

En el nivel más bajo, se encuentran las dos baterías que alimentarán todos los experimentos y transmisores del globo, incluyendo al de video. A los laterales se colocarán los transmisores de telemetría 3dr y el video en 5.8GHz. El siguiente piso, es para la Raspberry principal, que es el ordenador central del globo. A continuación, se colocará el módulo de APRS, con su microcontrolador y transmisor, y por último los experimentos de contadores *Geiger*.

Al juntar el módulo de telemetría 3dr y la parte transmisora de APRS, se encuentra que hay una serie de problemas interferentes en el microcontrolador que se encarga del APRS. Para intentar solucionarlo, se recubre de papel de aluminio el 3dr radio observándose que hay una leve mejoría pero no suficiente. Por lo que se decide colocar fuera del globo el módulo 3dr, modificando la primera planificación que se tenía pensada.

A continuación se muestran una serie de fotos del montaje de las diferentes partes del globo.



Figura 32: Colocación en globo 1

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos



Figura 33: Colocación en globo 1



Figura 34: Colocación en globo 2

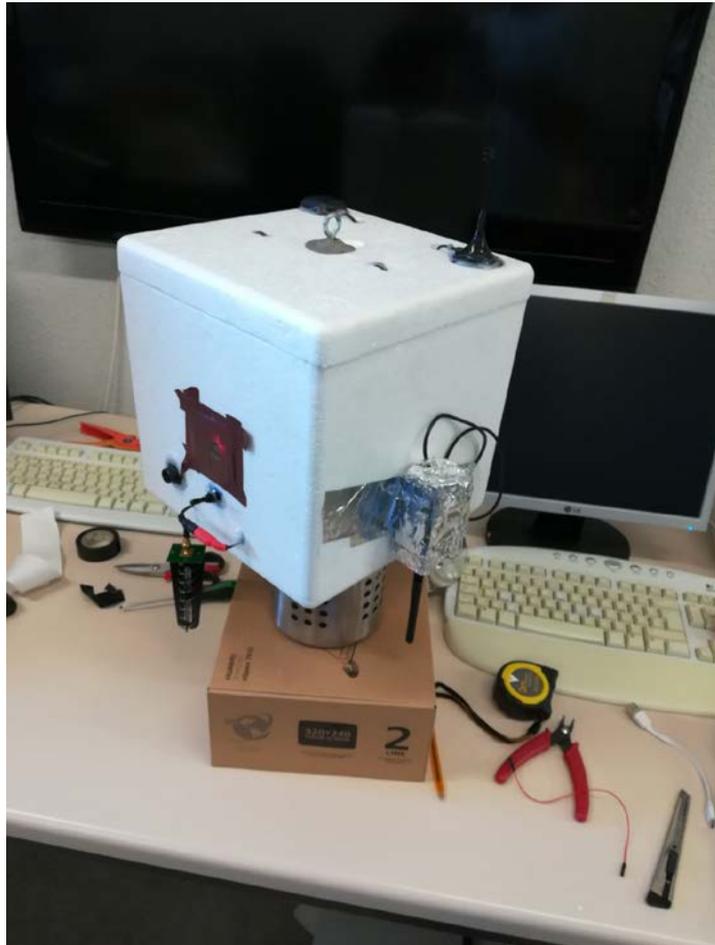


Figura 35: Colocación en globo 3

El siguiente paso, fue realizar una prueba de autonomía global del sistema de forma que permitiera saber si el requisito de duración de baterías se cumplía o no. El resultado fue que la parte de telemetría no supero las 2.20h, por lo que no llegó a las 3h mínimas. Para la parte de video, se tuvo que suspender la prueba debido a que la temperatura interior de la caja se elevó a 50 grados y ciertos componentes dejaron de funcionar, pero se estima que la parte de video si duraría las 3h mínimas.

Una vez comprobados todos los componentes, se procedió a cerrar el globo y colocarle la manta térmica de protección de forma que no taparan a los diferentes sensores y partes de comunicación críticas para el sistema.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos



Figura 36: Globo completo 1



Figura 37: Globo completo 2

En la siguiente imagen, se observa como el transmisor 3dr se ha colocado fuera con un recubrimiento de papel de aluminio y poliespan para protegerlo.



Figura 38: Globo completo 2

Por último, se aprecia el resultado global tras su montaje.



Figura 39: Globo completo 3

5.2 Lanzamiento

El lanzamiento del año 2017, se realizó desde el campus externo de la universidad de Alcalá, concretamente desde el patio interno de la Escuela Politécnica Superior. Para ello, se acordonó la zona de lanzamiento y se separó la zona de recepción de telemetría y video con la de lanzamiento.

A continuación se presenta la mesa de recepción, en la cual se pueden observar el ordenador de la telemetría y el de recepción de video, así como las antenas y receptor de 5.8GHz.

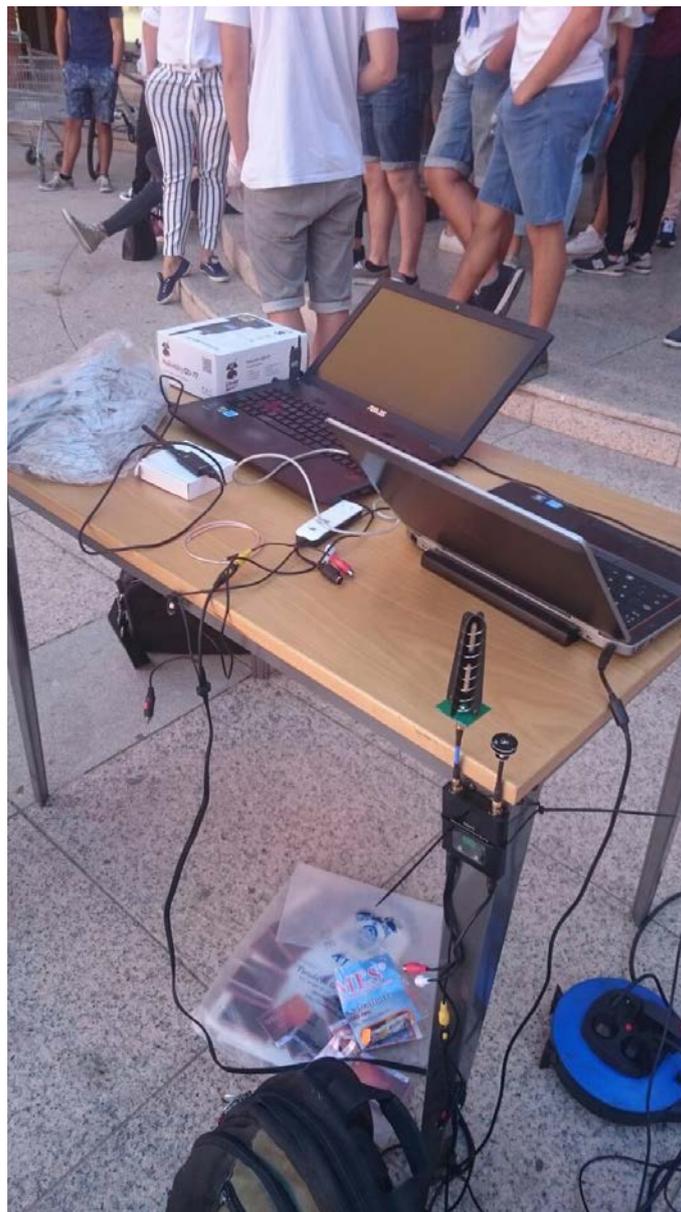


Figura 40: Estación receptora EPS

En la siguiente imagen, se observa cómo se está realizando el inflado del globo antes de las comprobaciones.



Figura 41: Llenado del globo

El último paso antes del lanzamiento, es la verificación de todos los sistemas, para ello se recurre a una lista previa de pasos a seguir.



Figura 42: Comprobaciones globo

Para recibir los datos fuera del entorno universitario, es necesario colocar los diferentes elementos receptores, así como las antenas en un vehículo para desplazarse según el globo se va moviendo y seguir su trayectoria.

Dicho vehículo está equipado con una antena bibanda VHF/UHF modelo Lafayette SG7900LA con una ganancia máxima en la banda de UHF de 7.6dBi.

Para la parte de APRS, también se ha colocado una antena bibanda, pero en este caso la banda utilizada es VHF.

Para la recepción de video, se ha utilizado el mismo receptor que en el patio de la EPS, colocándose en el techo del vehículo.

A continuación se observan las diferentes antenas colocadas en el techo del vehículo, uno de los ordenadores portátiles en la bandeja de atrás y los diferentes elementos necesarios, así como la batería para alimentar los equipos.



Figura 43: Estación receptora móvil

5.3 Resultados

En este apartado del quinto capítulo van a ser analizados los resultados tanto para la parte de video, telemetría y globales del sistema.

Para la parte de video, fue elegido un transmisor de 1W de potencia con antena de 11dBi y receptor diversity con dos antenas de 11dBi y 5dBi respectivamente, pero por un problema en las pruebas previas, se cambió el transmisor a uno de menor potencia, a 600mW, con las consecuencias que en el balance del potencia del enlace solo se abarcaría hasta los 25 km. de altura.

Como resultados del video, se colocó el receptor en la mesa habilitada en el patio de la EPS, de forma que se visualizó todo el ascenso durante 10 minutos, hasta los 2.5km aproximadamente, que ya el globo se desplazó hacia el este y debido a que el patio de la EPS se encuentra muy apantallado no se recibió más. Desde el vehículo ya no se volvió a recibir video.

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

A continuación se muestran dos ilustraciones del portátil de recepción del video. En la primera de las imágenes se observa la EPS más cercana, pero en la segunda ya se divisa parte de todo el campus externo de la UAH.

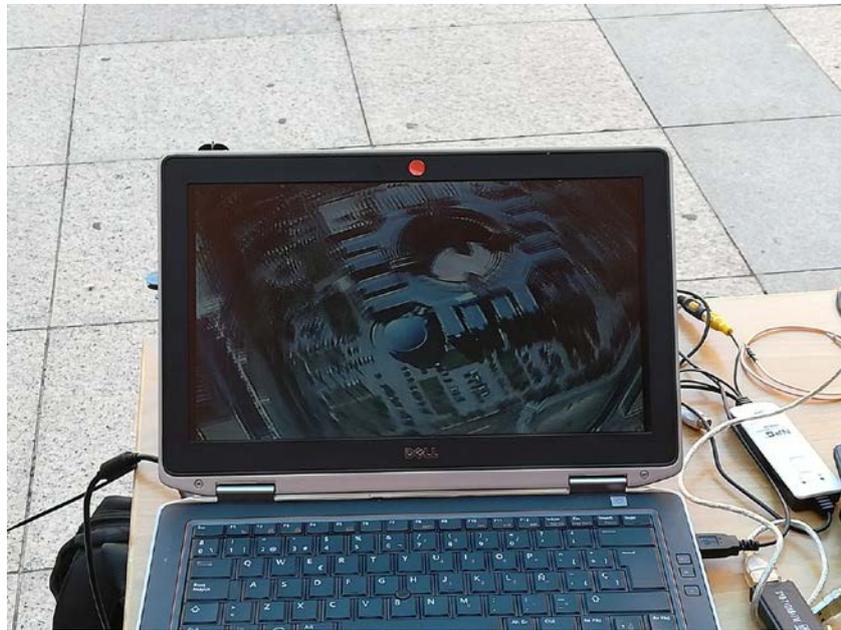


Figura 44: Recepción video 1

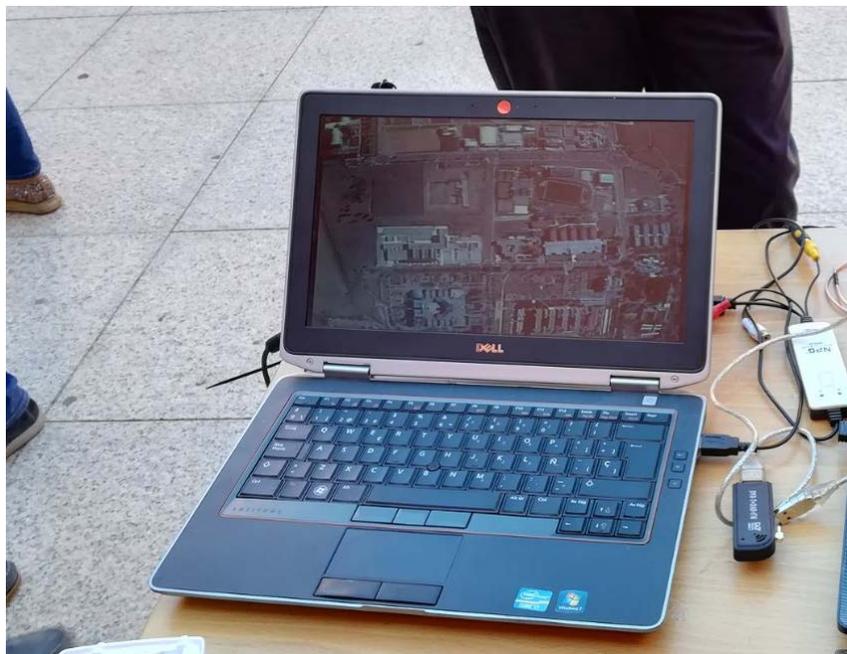


Figura 45: Recepción video 2

Para la parte de telemetría se va a realizar el análisis. Este dispositivo se estuvo comunicando con tierra desde las 11:07:47 hasta las 11:27:29, un total de 20 minutos, tiempo en el cual se estuvo recibiendo las señales desde el patio de la EPS de Alcalá, utilizando la antena que venía por defecto y en polarización horizontal. En ese trascurso de tiempo, el globo ascendió hasta los 5.3km., proporcionando todos los datos de telemetría.

El formato de la trama recibida fue el siguiente:

Thu Sep 14 11:07:47 CEST 2017

0009;40.30.78557N - 03.21.03286W -A- 657.5m;-
8.5;50.4;68.9;948.6;552.9;27.7;33.4;2017/09/13 12:20:57;21;EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE

En el mapa se visualiza lo siguiente:



Figura 46: Mapa primera posición 3dr

La última trama:

Thu Sep 14 11:27:29 CEST 2017

007f;40.30.85393N - 03.20.29440W -A- 2428.m;-29.5;5.0;76.8;521.2;5267.6;33.6;;2017/09/14
09:24:36;52;EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos



Figura 47: Mapa última posición 3dr

En esos 20 min se recibieron un total de 60 tramas válidas de un total de 110 (las 10 primeras no se cuentan por el periodo de sincronización), por lo que se obtuvo un 54.5% de tramas validas en ese periodo.

A partir de los 20 minutos se hizo un repliegue de los equipos del patio de la EPS y se colocaron en la furgoneta para el seguimiento móvil. Desde ese momento, cuando el globo iba a unos 9km. de altitud se volvieron a conectar los equipos, pero no se obtuvieron datos. La distancia recorrida, que no solo se debe tener en cuenta la altura, si no el recorrido en el eje x, aumentaron notablemente la distancia entre nuestro punto de recepción y el globo, y ante la zona baja y apantallamiento no fue posible la recepción de más datos. Una vez por la zona de la supuesta caída se realizó una batida de radiofrecuencia pero ya el globo estaría en el suelo y no se pudo localizar.

A parte de todo lo expuesto anteriormente, aunque no se ha desarrollado en este texto, el globo iba equipado de otra serie de equipos, por ejemplo APRS el microcontrolador sufrió una interferencia provocada por la sonda meteorológica del AEMET, lo que impidió que transmitiera los datos y la posición. Además, la sonda AEMET, fue defectuosa, de forma que no permitió obtener la geolocalización de la misma.

Capítulo 6

Conclusiones y líneas futuras

6.1 Conclusiones

A lo largo de este proyecto, se han analizado los pasos a desarrollar para el estudio e implantación de un sistema tanto de baja como de alta velocidad para la transmisión tanto de telemetría como de video desde globos estratosféricos, de tal forma que el lector ha sido capaz de seguir cada uno de los pasos previos para la correcta elección de los dispositivos.

El objetivo principal del proyecto era *“Realizar un sistema de comunicaciones tanto de alta como baja velocidad de comunicación desde globos estratosféricos”*, se puede determinar que si se ha llevado a cabo dicho cometido, de forma que se ha conseguido transmitir esa información a tierra. Analizando los sub objetivos, los requisitos, para la telemetría el único que no ha podido llevarse a cabo es el REQ-3 de la autonomía, ya que no se superaron las 3h. Mientras en video, se han cumplido los requisitos a excepción del REQ-5 en cuanto a legalidad de frecuencia, ya que se excede la potencia máxima de transmisión y del REQ-3 por no utilizar otra batería externa.

6.2 Líneas futuras

Como líneas futuras, se propone revisar la transmisión de telemetría por parte del 3dr radio, ya que solamente se obtuvieron datos hasta los 5.3km desde dentro la EPS, por lo que se debería analizar la posibilidad de cambiar la ubicación del receptor.

También, una opción es utilizar el canal bidireccional que ofrecen estas radios, de forma que se pueda tele operar al globo para mandarle órdenes.

Se debería preparar una estación de recepción en un punto alto cerca de la previsión de caída, de forma que el vehículo móvil mientras se desplaza desde el punto de lanzamiento, este otro recibe la información.

Presupuesto

El presupuesto está formado por todos los elementos necesarios para la realización del sistema tanto de telemetría como de video, con todos sus elementos tanto transmisores y receptores así como las antenas.

El presupuesto de ejecución material, PEM en adelante, se elabora a partir del coste de mano de obra y del material.

En la siguiente tabla se recogen los gastos relacionados con la mano de obra.

Categoría	Horas	Precio / Hora €	Total
Ingeniero	150	50 €	7.500 €
Conductor	3	15 €	45 €
Documentación	50/50	0,7 €pág sin dibujo 1,0 €pág con dibujo.	85 €
TOTAL			7.630 €

Tabla 15: Presupuesto mano de obra

En la tabla 16 se recoge el presupuesto del material.

Conceptos	Cantidad	Precio Unidad	Total
Transmisor 3DR	2	16,15 €	32,30 €
Transmisor 600mW 5,8GHz	1	16,91 €	16,91 €
Transmisor 1W 5,8GHz	1	16,06 €	16,06 €
Transmisor 600mW 5,8GHz	1	26,70 €	26,70 €
Transmisor Moteino +RF	2	19,95 €	39,90 €
Receptor FR 632	1	50,00 €	50,00 €
Receptor RC 805	1	23,15 €	23,15 €
Antena Realacc 5dBi	2	3,50 €	7,00 €
Antena Aomway 11dBi	3	11,15 €	33,45 €
Batería 850 mAh	1	6,47 €	6,47 €

Cámara RCA	1	24,86 €	24,86 €
Antena SG7900LA	1	47,19 €	47,19 €
Base magnética	1	19,30 €	19,30 €
		TOTAL	343 €

Tabla 16: Presupuesto material

Teniendo en cuenta los costes de mano de obra y costes del material, en la *tabla 17* se muestra el coste por ejecución material.

Concepto	Total
Mano de obra	7.630 €
Material	343 €
TOTAL	7.973 €

Tabla 17: Presupuesto ejecución material

En el Presupuesto de ejecución por Contrata, PC en adelante, se incluye el coste de ejecución material junto con los Gastos Generales, el Beneficio Industrial y los Honorarios de dirección y redacción.

Concepto	Valor	Total
PEM	1	7.973 €
Gastos Generales y Beneficio Industrial	15 % PEM	1.196 €
Honorarios de redacción	7% PEM	558 €
Honorarios de dirección	7% PEM	558 €
TOTAL		10.285 €

Tabla 18: Presupuesto PC

Concepto	Valor	Total
PC	1	10.285 €
IVA	21%	2.159 €
TOTAL		12.444 €

Tabla 19: Presupuesto final

El presupuesto total del proyecto asciende a la cantidad de **doce mil cuatrocientos cuarenta y cuatro euros, 12.444 €**.

Bibliografía y referencias

- [1] **Globos estratosféricos** [En línea] <http://www.aemet.es/es/noticias/2016/05/aeronaedatos> Consulta: 25 de Agosto de 2017]
- [2] **Globos estratosféricos** [En línea] <http://stratocat.com.ar/artics/globos0.htm> Consulta: 20 de Junio de 2017]
- [3] **Promax TV Explorer** [En línea] <http://www.promax.es/downloads/manuals/3Lang/TVExplorer.pdf> [Consulta: 15 de Junio de 2017]
- [4] **Acrylic Heat Maps** [En línea] <https://www.acrylicwifi.com/software/analisis-cobertura-wifi-acrylic-heatmaps-mapas-de-cobertura/> [Consulta: 15 de Junio de 2017]
- [5] **RTL SDR** [En línea] <http://www.rtl-sdr.com/buy-rtl-sdr-dvb-t-dongles/> [Consulta: 15 de Junio de 2017]
- [6] **SDR Sharp** [En línea] <http://airspy.com/quickstart/> [Consulta: 15 de Junio de 2017]
- [7] **Espectro UHF** [En línea] <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/espectro/paginas/cnaf.aspx> [Consulta: 8 de Febrero de 2017]
- [8] **Real Decreto 805/2014** [En línea] <http://www.boe.es/boe/dias/2014/09/24/pdfs/BOE-A-2014-9667.pdf> [Consulta: 14 de Junio de 2017]
- [9] **Ikusi MAC Home** [En línea] https://www.orbitadigital.com/es/moduladores/digital/1359-modulador-ikusi-mac-home-hd.html?gclid=CjwKEAjw2qzHBRChloWxgoXDpyASJAB01lo0vUd17ZB4xXkOjRcd7yWAFNWSVv7EumxliY8GTklldxoCLM_w_wcB [Consulta: 4 de Abril de 2017]
- [10] **Televes DVB-T Televes Digimod** [En línea] https://www.orbitadigital.com/es/moduladores/digital/1180-modulador-domestico-dvb-t-televes-digimod-con-entrada-av-cvbs-usb.html?gclid=CjwKEAjw2qzHBRChloWxgoXDpyASJAB01lo0YpXtF5mnQEMLO3x1q0rXwQnguEXH0iwaGQ75fKcbghoCoJ7w_wcB [Consulta: 4 de Abril de 2017]
- [11] **Tecatel HD** [En línea] <https://www.electropolis.es/modulador-tv-tdt-hd-hdmi-con-usb.html> [Consulta: 4 de Abril de 2017]
- [12] **Espectro electromagnético** [En línea] <https://rincondelatecnologia.com/nuestro-espectro-electromagnetico/> [Consulta: 16 de Junio de 2017]

- [13] **Moteino** [En línea] <https://lowpowerlab.com/shop/product/99> [Consulta: 10 de Abril de 2017]
- [14] **Moteino RFM69HW** [En línea] <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM69HW-V1.3.pdf> [Consulta: 10 de Abril de 2017]
- [15] **Moteino RFM12B** [En línea] [Consulta: 10 de Abril de 2017]
<http://www.hoperf.com/upload/rf/rfm12b.pdf>
- [16] **Pila protocolos LoRaWAN** [En línea] <http://www.iot-partners.com/2015/12/lorawan-una-red-de-largo-alcance-para-iot/> [Consulta: 10 de Abril de 2017]
- [17] **Info LoRaWAN** [En línea] <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology> [Consulta: 11 de Abril de 2017]
- [18] **Tipos de redes LoRaWAN** [En línea] <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/lorawan-for-arduino-raspberry-pi-waspmote-868-900-915-433-mhz> [Consulta: 11 de Abril de 2017]
- [19] **Protocolo Mavlink** [En línea] <http://www.xdrones.es/mavlink/> [Consulta: 1 de Septiembre de 2017]
- [20] **Foto 3drRadioV1** [En línea] <https://www.youtube.com/watch?v=ZooogJNdDE4> [Consulta: 11 de Mayo de 2017]
- [21] **3drRadioV2** [En línea] <https://3dr.com/wp-content/uploads/2013/10/3DR-Radio-V2-doc1.pdf> [Consulta: 11 de Mayo de 2017]
- [22] **Transmisor Receptor 1.2GHz 2.5W** [En línea] http://www.dx.com/es/p/1-2ghz-2-5w-wireless-audio-video-av-transmitter-receiver-monitoring-kit-silver-black-406422?tc=EUR&gclid=CjwKEAjwtq7GBRDun9iu2JjyhmsSJADHCD_HQe0AlFf9SARgbdcA5o7pGEkofvLM7N9Sy7UZ7afuhoCe6bw_wcB#.WMu792f_qpo [Consulta: 21 de Abril de 2017]
- [23] **Transmisor Receptor 1.2GHz 850mW** [En línea] <https://rc-innovations.es/1.2Ghz-video-transmisor-fpv> [Consulta: 21 de Abril de 2017]
- [24] **Transmisor Receptor 2.4GHz 3000mW** [En línea] http://www.dx.com/es/p/2-4ghz-3w-long-distance-video-stereo-wireless-transmitter-receiver-system-black-white-399200?tc=EUR&gclid=CjwKEAjwtqzHBRChloWxgoXDpyASJAB01Io0NOnw_9XGpBIUHcjTyFN9AbOokdCm1Fxtc-ChpSfTqBoC2-3w_wcB#.W0tal2clGpo [Consulta: 21 de Abril de 2017]
- [25] **Transmisor Receptor 2.4GHz 2000mW** [En línea] <http://www.dx.com/es/p/2-5ghz-2w-wireless-transmitter-receiver-kit-silver-black-155938#.W0tb2GclGpo> [Consulta: 21 de Abril de 2017]
- [26] **Transmisor 5.8GHz 200mW** [En línea] <https://www.amazon.es/Boscam-TS351-RC805-Transmitter-Receiver/dp/B00GGC60N2> [Consulta: 21 de Abril de 2017]
- [27] **Transmisor 5.8GHz 500mW** [En línea] <http://www.helipal.com/boscam-5-8ghz-fpv-system-500mw.html> [Consulta: 21 de Abril de 2017]

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

[28] **Transmisor 5.8GHz 600mW** [En línea] <https://www.amazon.com/dp/B01LAQS64O?psc=1>
[Consulta: 21 de Abril de 2017]

[29] **Transmisor 5.8GHz 600mW** [En línea] https://www.amazon.es/TOOGOO-TS832-5-8Ghz-Inalambrico-Transmisor/dp/B01B3Z8B7E/ref=sr_1_fkmr0_1?ie=UTF8&qid=1498815267&sr=8-1-fkmr0&keywords=5.8G++600mW+FPV+Audio+Video+Transmitter [Consulta: 21 de Abril de 2017]

[30] **Transmisor 5.8GHz 1000mW** [En línea] http://www.dx.com/es/p/fpv-5-8g-40ch-tx1000-1000mw-7-26v-wireless-av-image-transmitter-438898?tc=EUR&gclid=Cj0KEQjw7dfkBRcdkKrvmfKtyeoBEiQAch0egds_C9S6oiVbiMriqXTQOW18uwpeXgAbKF0mVoT8ctsaALGQ8P8HAQ#.WVpYulElGpq [Consulta: 21 de Abril de 2017]

[31] **Transmisor 5.8GHz 2000mW** [En línea] https://es.aliexpress.com/item/Singapore-Freeship-New-version-5-8G-FPV-2W-8-Ch-2000mW-Wireless-Audio-Video-Transmitter-AV/1210529755.html?spm=2114.10010408.1000013.2.XL8kut&traffic_analysisId=recommend_2088_1_82199_new&scm=1007.13339.82199.0&pvid=63ce6522-286e-4033-b759-e76a16a3130f&tpp=1 [Consulta: 21 de Abril de 2017]

[32] **Receptor FR632** [En línea] https://hobbyking.com/en_us/fr632-diversity-5-8ghz-40ch-auto-scan-lcd-a-v-receiver.html [Consulta: 30 de Abril de 2017]

[33] **Quantum RC540R** [En línea] https://hobbyking.com/en_us/5-8ghz-32ch-8-race-channels-diversity-vrx.html/?store=en_us [Consulta: 30 de Abril de 2017]

[34] **SkyZone D58-4** [En línea] https://hobbyking.com/en_us/skyzone-d58-4-5-8ghz-4ch-audio-video-diversity-receiver-fpv.html?store=en_us [Consulta: 30 de Abril de 2017]

[35] **Antena Yagi 1.2GHz 7dBi** [En línea] <https://es.aliexpress.com/item/1-2ghz-Yagi-Antenna-Stainless-steel-5-elements-yagi-antenna-rg58-cable-sma-connector-cctv-transmitter/1798869982.html?spm=a219c.search0306.4.2.iealBE> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]

[36] **Antena Onni 2.4GHz 2.5dBi** [En línea] <https://es.aliexpress.com/item/WIFI-Antenna-2-4-GHz-3dBi-RP-SMA-Male-Wireless-WLAN-Antenna-Aerial-WIFI-For-PCI/2013675576.html?spm=a219c.search0302.4.18.ZGtqTQ> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]

[37] **Antena Onni 2.4GHz 6dBi** [En línea] <https://es.aliexpress.com/item/2-4Ghz-6dbi-rubber-antenna-IPEX-connector-OMNI-WIFI-zigbee-aerial-2/32509001360.html?spm=a219c.10010108.1000023.7.47693981k9AWWhO> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]

[38] **Antena Panel 2.4GHz 18dBi** [En línea] <http://www.wifi-highpower.es/139-panel-18-dbi-antena-wifi-hembra-24-ghz-n.html> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]

- [39] **Antena Parabólica 2.4GHz 25dBi** [En línea] <http://aquario.net.br/?lang=es&action=produto&id=15> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]
- [40] **Antena Realacc 5dBi** [En línea] https://www.banggood.com/Realacc-5_8G-5dBi-50W-Omnidirectional-Omni-FPV-Flat-Panel-Pagoda-Antenna-SMARP-SMA-p-1140659.html?rmmds=detail-top-buytogether-auto [Consulta: 1 de Mayo de 2017]
- [41] **Antena Aomway 3dBi** [En línea] http://www.banggood.com/es/Aomway-5_8GHz-FPV-4-Leaf-Clover-AV-Transmission-RHCP-Antenna-1-Pair-p-961730.html?rmmds=detail-bottom-alsoBought [Consulta: 1 de Mayo de 2017]
- [42] **Antena Aomway 11dBi** [En línea] http://www.banggood.com/Aomway-11dbi-7-Turn-5_8GHz-Helical-Antenna-RHCP-p-952615.html [Consulta: 1 de Mayo de 2017]
- [43] **Antena RCmall 2.5dBi** [En línea] https://www.amazon.com/dp/B01AOTT0ZC/ref=psdc_172665_t2_B00LGM2U0E [Consulta: 1 de Mayo de 2017]
- [44] **Tx Moteino RFM69HW** [En línea] <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM69HW-V1.3.pdf> [Consulta: 3 de Mayo de 2017]
- [45] **Tx Moteino RFM69W** [En línea] <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM69W-V1.3.pdf> [Consulta: 3 de Mayo de 2017]
- [46] **CNAF España** [En línea] <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx> [Consulta: 5 de Julio de 2017]

Acrónimos

SRG → Space Research Group

SDR → Software Defined by Radio

EPS → Escuela Politécnica Superior

CNAF → Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

TX → Transmisión

RX → Recepción

LBF → Pérdidas por espacio libre

ADR → Adaptive Data Rate

FPV → First Person View

IoT → Internet of Things

FHSS → Frequency-Hopping Spread Spectrum

RSSI → Received Signal Strength Indicator

P.R.A → Potencia Radiada Aparente

P.I.R.E → Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

Anexos

Anexo 1.1

```
package emisor;
import jssc.SerialPort;
import jssc.SerialPortException;
import java.util.Date;
/**
 *
 * @author
 */
public class Emisor {

    /**
     * @param args the command line arguments
     */
    public static void main(String[] args) {

        SerialPort serialPort=null;

        if(System.getProperty("os.name").toLowerCase().indexOf("mac")>=0)
        {
            serialPort = new SerialPort("/dev/cu.usbserial-AH01W5A1");
        }
        else
        if(System.getProperty("os.name").toLowerCase().indexOf("win")>=0)
        {
            serialPort = new SerialPort("COM12");
        }
        else
        {
            System.err.println("Platform not supported!");
            System.exit(1);
        }
        try {
            System.out.println("Port opened: " +
serialPort.openPort());
            System.out.println("Params setted: " +
serialPort.setParams(9600, 8, 1, 0));
        } catch (SerialPortException e) {
            e.printStackTrace();
        }

        final SerialPort fserialPort=serialPort;

        while(true)
        {

            byte cabecera[]={69,65,52,82,75,85};
            byte
datos[]={46,109,101,110,115,97,106,101,100,101,112,114,117,101,98,97,1
00,101,116,114,97,110,115,109,105,115,105,111,110,100,101,115,100,101,
```

```

101,108,103,108,111,98,111,104,97,99,105,97,101,108,115,101,103,109,10
1,110,116,111,116,101,114,114,101,115,116,114,101,46,116,114,97,110,11
5,109,105,116,105,101,110,100,111,99,111,110,117,110,97,114,97,100,105
,111,51,100,114,100,101,49,48,48,109,119,100,101,112,111,116,101,110,9
9,105,97,46,80,114,111,98,97,110,100,111,46,32,48,49,50,51,52,53,54};
byte payload[]=new byte[128];
byte fin[]={77,80};
if(datos.length>payload.length)
{
    System.out.println("Datos mayor que tamaño de
paquete");
    System.exit(1);
}
System.arraycopy(datos,0,payload,0,datos.length);

byte crc=0;
for(int n=0;n<payload.length;n++)
{
    crc^=payload[n];
}

try
{
    serialPort.writeBytes(cabecera);
}
catch(Exception e)
{
    e.printStackTrace();
}

try
{
    serialPort.writeBytes(payload);
}
catch(Exception e)
{
    e.printStackTrace();
}

try
{
    serialPort.writeByte(crc);
}
catch(Exception e)
{
    e.printStackTrace();
}

try
{
    serialPort.writeBytes(fin);
}
catch(Exception e)
{
    e.printStackTrace();
}

```

```
        try
        {
            Thread.sleep(5000);
        }
        catch(Exception e)
        {
            e.printStackTrace();
        }

        // TODO code application logic here
    }
    //System.out.println("Me salgo");
}
}
```

Anexo 1.2

```
package TelemetriaGlobo;

import java.awt.Font;
import javax.swing.text.DefaultCaret;
import jssc.SerialPort;
import jssc.SerialPortException;

/**
 *
 * @author
 */
public class GuiGlobo extends javax.swing.JFrame {

    /**
     * Creates new form GuiGlobo
     */
    public GuiGlobo() {
        initComponents();
        setExtendedState(javax.swing.JFrame.MAXIMIZED_BOTH);
    }

    /**
     * This method is called from within the constructor to initialize
    the form.
     * WARNING: Do NOT modify this code. The content of this method is
    always
     * regenerated by the Form Editor.
     */
    @SuppressWarnings("unchecked")
    // <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated
    Code">
    private void initComponents() {

        jPanel1 = new javax.swing.JPanel();
```

```

jScrollPane1 = new javax.swing.JScrollPane();
jTextArea1 = new javax.swing.JTextArea();
jScrollPane2 = new javax.swing.JScrollPane();
jTextArea2 = new javax.swing.JTextArea();

setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);
setTitle("Seguimiento del Globo");

jPanel1.setLayout(new java.awt.GridLayout(1, 2));

jTextArea1.setColumns(20);
jTextArea1.setRows(5);
jScrollPane1.setViewportView(jTextArea1);

jPanel1.add(jScrollPane1);

jTextArea2.setColumns(20);
jTextArea2.setRows(5);
jScrollPane2.setViewportView(jTextArea2);

jPanel1.add(jScrollPane2);

getContentPane().add(jPanel1, java.awt.BorderLayout.CENTER);

pack();
} // </editor-fold> // GEN-END: initComponents

/**
 * @param args the command line arguments
 */
public static void main(String args[]) {
    /* Set the Nimbus look and feel */

//<editor-fold defaultstate="collapsed" desc=" Look and feel setting
code (optional) ">
    /* If Nimbus (introduced in Java SE 6) is not available, stay
with the default look and feel.
    * For details see
http://download.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/lookandfeel/plaf.ht
ml
    */
    try {
        for (javax.swing.UIManager.LookAndFeelInfo info :
javax.swing.UIManager.getInstalledLookAndFeels()) {
            if ("Nimbus".equals(info.getName())) {
                javax.swing.UIManager.setLookAndFeel(info.getClassName());
                break;
            }
        }
    } catch (ClassNotFoundException ex) {

        java.util.logging.Logger.getLogger(GuiGlobo.class.getName()).log(java.
util.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

        java.util.logging.Logger.getLogger(GuiGlobo.class.getName()).log(java.
util.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

```

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

```
java.util.logging.Logger.getLogger(GuiGlobo.class.getName()).log(java.
util.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    } catch (javax.swing.UnsupportedLookAndFeelException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(GuiGlobo.class.getName()).log(java.
util.logging.Level.SEVERE, null, ex);
    }
//</editor-fold>
/* Create and display the form */
java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
    public void run() {
        GuiGlobo guiGlobo=new GuiGlobo();
        guiGlobo.setVisible(true);
        guiGlobo.jTextArea1.setFont(new
Font("Arial",Font.PLAIN,12));
        DefaultCaret
        caret1=(DefaultCaret)guiGlobo.jTextArea1.getCaret();
        caret1.setUpdatePolicy(DefaultCaret.OUT_BOTTOM);
        guiGlobo.jTextArea2.setFont(new
Font("Arial",Font.PLAIN,12));
        DefaultCaret
        caret2=(DefaultCaret)guiGlobo.jTextArea2.getCaret();
        caret2.setUpdatePolicy(DefaultCaret.OUT_BOTTOM);

        // TODO code application logic here
        SerialPort serialPort=null;

if(System.getProperty("os.name").toLowerCase().indexOf("mac")>=0)
    {
        serialPort = new SerialPort("/dev/cu.usbserial-
AH01W5A1");
    }
    else
if(System.getProperty("os.name").toLowerCase().indexOf("win")>=0)
    {
        serialPort = new SerialPort("COM9");
    }
    else
    {
        System.err.println("Platform not supported!");
        System.exit(1);
    }
    try {
        System.out.println("Port opened: " +
serialPort.openPort());
        System.out.println("Params setted: " +
serialPort.setParams(9600, 8, 1, 0));
    } catch (SerialPortException e) {
        e.printStackTrace();
    }

    final SerialPort fserialPort=serialPort;

    ThreadLector lector=new
ThreadLector(serialPort,guiGlobo.jTextArea1,guiGlobo.jTextArea2);
    lector.start();

    }
});
```

```

}

// Variables declaration - do not modify//GEN-BEGIN:variables
private javax.swing.JPanel jPanel1;
private javax.swing.JScrollPane jScrollPane1;
private javax.swing.JScrollPane jScrollPane2;
private javax.swing.JTextArea jTextArea1;
private javax.swing.JTextArea jTextArea2;
// End of variables declaration//GEN-END:variables
}

```

Anexo 1.3

```

package TelemetriaGlobo;

import jssc.SerialPort;
import javax.swing.JTextArea;
import java.util.Arrays;
import java.util.Date;

/**
 *
 * @author
 */
public class ThreadLector extends Thread{

    private SerialPort sPort;
    private JTextArea bueno;
    private JTextArea malo;

    public ThreadLector(SerialPort sPort, JTextArea bueno, JTextArea
malo){

        this.sPort=sPort;
        this.bueno=bueno;
        this.malo=malo;
    }
    public void run()
    {
        byte cabecera[]=null;
        byte payload[]=null;
        byte fin[]=null;
        while(true) {
            try
            {
                cabecera=sPort.readBytes(6, 1000);
                if(cabecera!=null)
                {
                    if(cabecera.length<6)
                    {
                        System.out.println("Error recibiendo cabecera:

```

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

```
" +cabecera.length);
        sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
        try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
        sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
        try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
        sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
        continue;
    }
    else
    {
        byte fixed_cabecera[]={69,65,52,82,75,85};
        if(Arrays.equals(cabecera,fixed_cabecera)
        {
            System.out.println("Cabecera correcta");
            System.out.println(new String(cabecera));
        }
        else
        {
            System.out.println("Cabecera incorrecta");
            System.out.println(new String(cabecera));
            sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
            try{Thread.sleep(50);} catch(Exception
e2){}
            sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
            try{Thread.sleep(50);} catch(Exception
e2){}
            sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
            continue;
        }
    }
}
}
catch( Exception e)
{
    System.out.println("Timeout de 1 segundos recibiendo
cabecera");
    //e.printStackTrace();
    try
    {
        Thread.sleep(1000);
        continue;
    }
    catch(Exception e2)
    {
    }
}
byte crc_payload=0;
byte crc=0;
try
{
    payload=sPort.readBytes(128, 2000);
    crc_payload=sPort.readBytes(1,100)[0];
    //fin=sPort.readBytes(2,100);
    if(payload!=null)
```

```

        {
            if(payload.length<128)
            {
                System.out.println("Error recibiendo paquete:
"+payload.length);
                // malo.append(new Date()+"\n");
                // malo.append(new String(payload)+"\n");
                sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
                try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
                sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
                try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
                sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
                continue;
            }
            else
            {
                for(int n=0;n<payload.length;n++)
                {
                    crc^=payload[n];
                }
                if(crc_payload==crc)
                {
                    System.out.println("Paquete correcto");
                    System.out.println(new String(payload));
                    //System.out.println(crc);
                }
                else
                {
                    System.out.println("Paquete incorrecto,
error CRC");
                    System.out.println(new String(payload));
                    sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
                    try{Thread.sleep(50);} catch(Exception
e2){}
                    sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
                    try{Thread.sleep(50);} catch(Exception
e2){}
                    sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
                    continue;
                }
            }
        }
        // System.out.println(new String(cadena));
    }
}
catch( Exception e)
{
    System.out.println("Timeout de 1 segundo recibiendo
payload");
    try
    {
        Thread.sleep(100);
    }
}

```

Análisis y propuesta de soluciones para la transmisión de datos en tiempo real desde globos estratosféricos

```
    }
    catch(Exception e2)
    {
        continue;
    }
}

try
{
    fin=sPort.readBytes(2,100);
    byte cabecera_fin[]={77,80};

    if(fin.length<2)
    {
        System.out.println("Error recibiendo STOP:
"+fin.length);
        sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
        try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
        sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
        try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
        sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
        continue;
    }
    else
    {

        if(Arrays.equals(fin,cabecera_fin))
        {

            System.out.println("STOP correcto");
            System.out.println(new String(fin));
            bueno.append(new Date()+"\n");
            bueno.append(new String(payload)+"\n");
        }
        else
        {
            System.out.println("Paquete incorrecto, error
STOP");

            System.out.println(new String(fin));
            sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
            try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
            sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
            try{Thread.sleep(50);} catch(Exception e2){}
            sPort.purgePort(SerialPort.PURGE_RXCLEAR |
SerialPort.PURGE_TXCLEAR);
            continue;
        }
    }

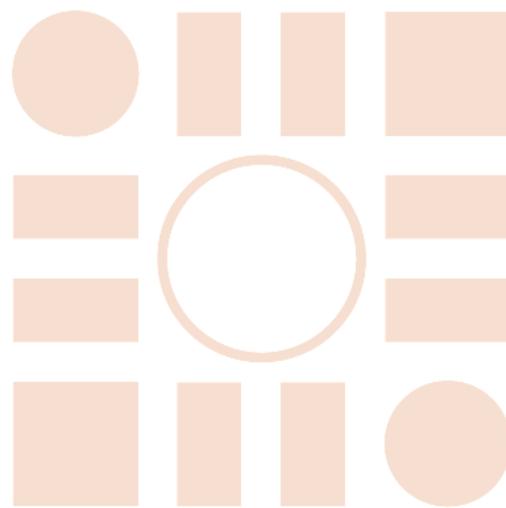
    // System.out.println(new String(cadena));

}

catch( Exception e)
{
```

```
payload");
        System.out.println("Timeout de 1 segundo recibiendo
    try
    {
        Thread.sleep(100);
    }
    catch(Exception e2)
    {
        continue;
    }
}
}
}
```

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá