

# Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: Terminal Satélite en  
Plataforma Aérea

Autor

Gonzalo De Toro Carmena

Director/es

Director académico: Dr. Daniel Casanova Ortega

Director militar: Cap. José Raúl Hoyas Cano

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2016



## 1. Resumen

Las unidades de Helicópteros se integraron en el Ejército de Tierra hace más de 50 años. Con el tiempo, su doctrina y forma de actuar han ido cambiando, pero siempre ha habido un factor común en las mismas: la importancia de las comunicaciones tierra-aire entre el helicóptero y el personal en tierra. La comunicación entre ambos actores es muy particular debido a la movilidad y profundidad de las operaciones realizadas por un helicóptero (reconocimiento, transporte de tropas, etc.). Actualmente, los helicópteros cuentan con serias limitaciones en sus comunicaciones. Por un lado, la distancia entre el emisor y el receptor limita la recepción de la señal, por otro lado, la cantidad de datos que pueden transmitirse es muy limitada. Estas limitaciones podrían quedar claramente resueltas con la instalación de un terminal satélite en el helicóptero, es decir, colocar un aparato que mejore el canal de comunicación entre el helicóptero y el elemento terrestre.

Sin embargo, las características de maniobra de los helicópteros obligan a que este terminal satélite sea un satélite en movimiento, esto es, un satélite que pueda realizar sus funciones aun cuando el helicóptero este en movimiento. Además, el hecho de que se trate de una aeronave hace que este satélite este sometido a serias restricciones, debido a la aeronavegabilidad y seguridad del aparato, tamaño, peso, etc.

Hoy en día el Ejército de Tierra cuenta con la estación SORIA, un vehículo que integra comunicaciones radio y satélite y que constituye un puesto de mando móvil en tierra, además, permite obtener los beneficios del satélite en movimiento. Es de vital importancia conseguir estos beneficios también en plataforma aérea, que cambiarían por completo la doctrina de los helicópteros.

Por tanto, el terminal satélite que se propone en este trabajo debe estar adaptado al helicóptero, debe tener en cuenta los aspectos técnicos en los equipos que forman este terminal, desde la antena y su colocación, hasta los pesos de los equipos personales. Por consiguiente, para la instalación de este terminal, es necesario realizar un estudio minucioso de las capacidades y características de dichos equipos. Además, a la hora de instalar este terminal, es de vital importancia que la comunicación se realice a través de las redes seguras del Ejército de Tierra y que permita una comunicación eficaz y fiable al mismo tiempo. Finalmente, se propone una línea de trabajo futura para la mejora de la propuesta realizada en este trabajo.

## 1. Abstract

The Helicopter units were integrated in the army about fifty years ago. Since then, their doctrines and their way of acting have changed, but always with a common factor in them: the importance in the air-ground communications between the helicopter and the earth staff. The communication between both is quite particular due to the mobility and depth concerning the helicopter operations (recognition, troops transportation, etc.). Nowadays, helicopters have several limitations in their communications. On the one hand, the distance between the sender and receiver limits the reception of the signal; on the other hand, the quantity of data that can be transmitted is quite restrictive. These limitations could be clearly solved with the installation of a satellite terminal at the helicopter, that is, placing a gadget in the helicopter, which improves the communication channel between the helicopter and the earth staff.

However, the particular maneuvers of the helicopter make that this satellite terminal must be a Satellite On The Move, that is, a satellite that is able to fulfill their tasks even if the helicopter is in motion. Furthermore, the fact that we are working in an aircraft, force the installation of the satellite to assume several restrictions due to the security on the satellite, weight, size, etc.

Nowadays, the Army has the SORIA station, this provide to the army the benefits of the Satellite On The Move. It is really important to reach these benefits also in aerial platform, which would change completely the helicopter's doctrine.

Therefore, the satellite terminal proposed in this work must be adapted to the aircraft; it must take into account the technical aspects, which involve this terminal, from the antenna and its location, to the weight of the personal equipment. Consequently, a rigorous analysis of the abilities and characteristics of the equipment must be done for the installation of this satellite terminal. Furthermore, when installing this satellite terminal, is vital the use o safety satellite communications, that, is, it has to use the army satellite networks. Finally, this work proposes future investigations in order to improve this proposal.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer toda la ayuda recibida a mis directores del TFG.

Agradecerle al Doctor Daniel Casanova Ortega por su incansable trabajo y constante apoyo a la hora de realizar este trabajo, sin él no hubiera sido posible.

Agradecerle también al Capitán José Raúl Hoyas Cano que además de su constante interés y ayuda en todo lo relativo al TFG, consiguió que las prácticas externas fueran lo más provechosas posibles, conociendo al máximo una gran unidad y su forma de trabajar, y haciendo que este período sea algo inolvidable.

Por otra parte, debo agradecer su constante ayuda y ofrecimiento a todo el personal de las FAMET y sobre todo de la Compañía de Transmisiones del Cuartel General. Dentro de este personal debo dar un especial agradecimiento a los Tenientes de la Compañía de Transmisiones: el Teniente Alejandro Tomás Peñalosa Graziati, el Teniente Francisco José Luque Tabernero y el Teniente Juan Luis Palomo Maldonado, que sin duda ofrecieron todo su apoyo y ayuda para la realización del trabajo e hicieron todo lo posible para que pudiese sacar el máximo partido a las prácticas externas; al Sargento Primero David Catalán Mejías que una vez más consiguió transmitir sus amplísimos conocimientos sobre las transmisiones y fue de vital importancia a la hora de realizar este trabajo. Por otra parte, me gustaría agradecer al Teniente Coronel Manuel Bernal Carballa y al Capitán Carlos Pelegrín Muñoz todo su apoyo y ayuda recibida. Finalmente, agradecer al cabo primero Javier Hormeño Violat, su total disponibilidad y disposición a la hora de explicarnos todos los helicópteros, y a las empresas INSTER e INDRA, a la UME, y a los diferentes profesores del CUD a los que pedí consejo y ayuda, gracias a ellos se consiguió toda la información y el material necesario para desarrollar este proyecto.

Mi más sincero agradecimiento a todo el personal mencionado y a todos aquellos que no aparecen pero que sin duda pusieron su “granito de arena” para que este proyecto pudiese realizarse.

## INDICE

1.	Siglas .....	1
2.	Introducción.....	2
3.	Estado del arte. ....	3
3.1.	Comunicaciones de los HELO's .....	3
3.2.	Comunicaciones del ET.....	3
3.3.	Terminales SOTM en el mercado. ....	5
	UAV .....	5
	SOTM en el ET. ....	6
	Comunicación satelital en los HELO's. ....	7
4.	Motivación.....	9
5.	Objetivo y clave del éxito. ....	9
6.	Metodología .....	10
7.	ANÁLISIS DEL PROBLEMA. ....	11
8.	Alternativas disponibles en el mercado.....	13
8.1.	Respuesta de las alternativas ante los problemas planteados.....	13
9.	Propuesta .....	16
9.1.	Equipos propuestos y análisis.....	19
	Satélite: .....	20
	Subsistema de antena y subsistema control de antena.....	21
	Subsistema de banda base.....	24
	Equipos personales. ....	29
	Alimentación.....	30
	Equipos Interiores .....	30
10.	Conclusión.....	31
11.	Líneas futuras.....	32
12.	REFERENCIAS.....	33

## 1. Siglas

### A

ACU: *Antenna Control Unit*.  
 AGA: Academia General del Aire.  
 ASS: Autorización de Acceso satélite.

### B

BUC: *Block Up Converter*.  
 BLOS: *Below Line Of Sight*.  
 Bluetooth LE: *Bluetooth Low Energy*.

### C

CAC: Comprobación de Alarmas y Control.  
 CECEA: Centro Corporativo de Explotación y Apoyo.  
 CESEDEN: Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional.  
 CIS: *Communication and Information Systems*.  
 CTS: *Continuous Transversal Stubs*

### D

DGAM: Dirección General de Armamento y Material.

### E

ET: Ejército de Tierra.  
 EA: Ejército del Aire.  
 EIP: *Everything over Internet Protocol*.  
 EW: *Electronic War*.

### F

FAMET: Fuerzas Aeromóviles del Ejército de Tierra.  
 FAS: Fuerzas Armadas.

### G

GBe: *Gigabit Ethernet*.

### H

HELO: Helicóptero.  
 HF: *High Frequency*.

### I

INS: *International Navigation System*.  
 INTA: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.  
 IP: *Internet Protocol*.  
 IRDA: *Infrared Data Association*.

### L

LOS: *Line Of Sight*.  
 LNB: *Low Noise Block*.

### M

MCU: *Motor Control Unit*.

### N

NDN: *National Digital Network*.  
 NEC: *Network Enable Capability*.

### P

PASI: Plataforma Aérea Sensorizada de Inteligencia.  
 PC: Puesto de Mando.  
 PCAEROMOV: Puesto de Mando Aeromóvil.  
 PCMHEL: Parque Central de Mantenimiento de Helicópteros.  
 Poe: *Power On Ethernet*.

### R

RF: Radio Frecuencia.

### S

SAS: Solicitud de Acceso Satélite.  
 SCTM: Sistema Conjunto de Telecomunicaciones Militares.  
 SECOMSAT: Sistema Español de Comunicaciones Satelitales.  
 SIVA: Sistema Integrado de Comunicaciones Aéreas.  
 SOTM: *Satellite On The Move*.

### T

TLB-IP: Terminal Ligero Banda *Internet Protocol*.  
 TX: Transmisión.

### U

U: Unidad de rack.  
 UAV : *Unmanned Aerial Vehicle*.  
 UHF: *Ultra High Frequency*.  
 UHF/AM: *Aeronautical Ultra High Frequency*.

UME: Unidad Militar de Emergencias.  
 UPM: Universidad Politécnica de Madrid.  
 UWB: *Ultra Wide Band*.

### V

VANT: Vehículo Aéreo No Tripulado.  
 VHF: *Very High Frequency*.

### W

WLAN: *Wireless Local Area Network*.  
 WPAN: *Wireless Personal Area Network*.

### Z

ZO: Zona de Operaciones.

## 2. Introducción

Los helicópteros (HELO's) son sin duda uno de los mejores sistemas de armas que se puede emplear hoy en día debido a su versatilidad, discreción, rapidez y su gran capacidad para despegar, tomar tierra y operar en todo tipo de terreno. “Los helicópteros proporcionaron, desde su incorporación a los ejércitos, una interesante capacidad de movimiento rápido y flexible, ágil y ubicuo que permitía mover personal o medios específicos con independencia del obstáculo terrestre” [1].

Las Fuerzas Armadas son conscientes de esta situación, y por ello, han incorporado este tipo de unidades en su orgánica desde hace más de 50 años, con la creación de las Fuerzas Aeromóviles del Ejército de Tierra (FAMET) y la incorporación de HELO's en el Ejército del Aire (EA).

Dentro de estas unidades de HELO's centraremos nuestro estudio en los HELO's del Ejército de Tierra (ET) que se encuentran agrupados en las ya mencionadas FAMET, con sus diferentes bases en Madrid, Ciudad Real, Valencia, La Rioja y Sevilla. A su vez, dentro de las FAMET encontraremos diferentes tipos de HELO's dependiendo de las misiones que realizan. Distinguiendo los HELO's de ataque HA-28-Tigre, los helicópteros de transporte de tropas como el NH-90, el HT-21-Superpuma o el HT-27-Cougar o los encargados de realizar el transporte pesado como el HT-17-Chinook. [2].

Por tanto, podremos dividir las FAMET en dos grandes grupos: las unidades de HELO's de transporte y maniobra, y las unidades de HELO's de ataque. Dentro de estas diferentes unidades centraremos nuestro estudio sobre la instalación del *Satellite On The Move* (SOTM) en los HELO's de maniobra y transporte, ya que será en los mismos donde se montarán los diferentes Puestos de Mando Aeromóviles (PCAEROMOV) y, por tanto, donde se necesitará la mayor capacidad de comunicaciones, en concreto en los HELO's HT-21-Superpuma y los HELO's HT-27-Cougar.

### 3. Estado del arte.

#### 3.1. Comunicaciones de los HELO's

Actualmente, los HELO's de las FAMET cuentan con diferentes comunicaciones tierra-aire que les permiten realizar sus operaciones con ciertas limitaciones. Dentro de estas comunicaciones cabe destacar la existencia de antenas de *Very High Frequency* (VHF) que permiten un enlace de calidad a corta distancia, las antenas de *Ultra High Frequency* (UHF) que operan a su vez en las distancias cortas y que permiten el contacto con los elementos terrestres, como por ejemplo la estación Colmenar, diseñada por los expertos de transmisiones de las FAMET para conseguir transmitir y establecer las comunicaciones mediante UHF/Aeronáutica (UHF/AM), que serán las frecuencias aeronáuticas que nos permitan realizar estas comunicaciones.

Por otra parte, los HELO's actualmente cuentan también con comunicaciones mediante *High Frequency* (HF) que permiten a estos aparatos comunicaciones a cierta distancia, pero con serias limitaciones debido a la poca capacidad de estas comunicaciones y a la dificultad de implementar seguridad en las mismas, como por ejemplo la imposibilidad de utilizar el Salto de Frecuencia<sup>1</sup> (SFR) debido a las reflexiones en el casco del HELO.

En complemento a todas estas comunicaciones y para solventar la problemática que presentaba la comunicación vía radio, se incorporó en los HELO's un terminal "IRIDIUM" que posibilita la comunicación satelital. Sin embargo, esta comunicación tiene una seguridad nula por lo que su uso se restringe a casos de extrema necesidad.

Debido a las limitaciones planteadas anteriormente, se puede evidenciar la necesidad de instalar un equipo de comunicación satelital que nos permita comunicaciones en movimiento y seguras dentro del HELO.

#### 3.2. Comunicaciones del ET

En la actualidad, el ET está embarcado en alcanzar o conseguir la *Network Enable Capability* (NEC), capacidad que significará que todos los elementos de comunicaciones del ET se encuentren conectados en red. Para lograr la citada NEC es necesario que todos estos elementos se basen en la arquitectura *Everything over Internet Protocol* (EIP). Con esta arquitectura propuesta, podemos conseguir un ahorro vital de ancho de banda. En definitiva, el objetivo futuro será abandonar los radioenlaces y basar las comunicaciones en la tecnología IP.

Hoy en día, las Fuerzas Armadas (FAS) cuentan con una estructura de telecomunicaciones que se basa en la *National Digital Network* (NDN), el Sistema Conjunto de Telecomunicaciones Militares (SCTM) y el actual proyecto de Sistema

---

<sup>1</sup> Método de seguridad de las comunicaciones basado en rápidos cambios de frecuencia guiados por un código.

Español de Comunicaciones Satelitales (SECOMSAT) Fase MI (proyecto iniciado en el año 2008). Esta estructura de telecomunicaciones se basa en radioenlaces y fibra óptica, con una gran importancia de las comunicaciones por esta última vía. Además, se está propiciando el uso de los terminales satélites mediante el proyecto anteriormente mencionado, que utiliza satélites de propósito general, sistemas militares o incluso sistemas comerciales.

Sin embargo, esta situación no puede extrapolarse a los escenarios de una Zona de Operaciones (ZO) donde impera la seguridad en las transmisiones, la maniobrabilidad y el continuo movimiento, en especial cuando se trata de unidades de HELO's, debido a su gran movilidad y a la lejanía en la que estos realizan sus maniobras.

Por tanto, la solución a esta problemática en las comunicaciones reside en la comunicación satelital. Esta se basa en el empleo de un satélite que se encuentra en órbita geoestacionaria. Este satélite mandará la señal a la estación de anclaje terrestre que utilizará las redes nacionales para transmitir la información. Estas estaciones de anclaje también gestionarán las comunicaciones, en términos de potencia, capacidad, etc.

### Evolución de la capacidad de comunicaciones por satélite utilizada en distintas operaciones militares en los últimos 20 años

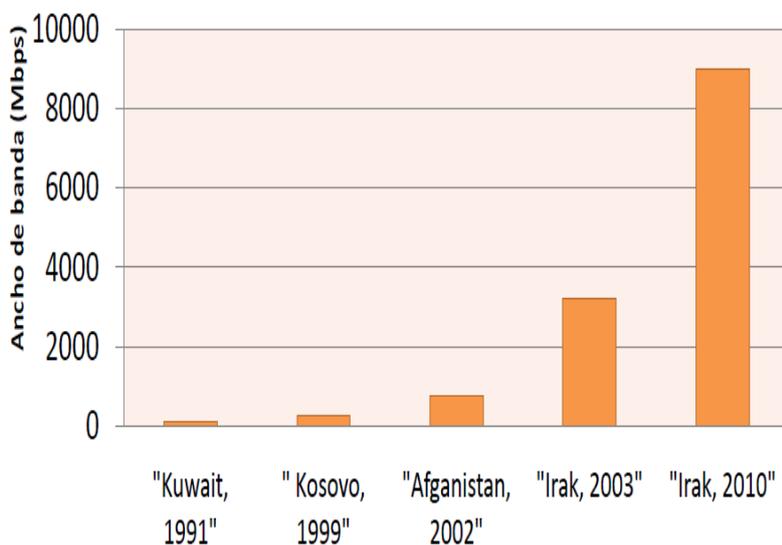


Imagen 1, Fuente: Telecomunicaciones, Eugenio Rodríguez

Hoy en día las comunicaciones satelitales realizadas en ZO representan un gran porcentaje.

Esto puede observarse en la imagen 1, donde se puede apreciar la evolución de la capacidad de comunicaciones por satélite en diferentes operaciones militares. Estas comunicaciones aumentan por dos motivos: la consecución de maniobras y el contacto de las diferentes tropas desplegadas en territorio extranjero con territorio nacional.

Las comunicaciones satelitales están empezando a utilizarse con la máxima eficacia en el ET. Esta máxima eficacia hace referencia a las comunicaciones satelitales en movimiento, un enlace que permita todas las ventajas del satélite y además, permita aprovecharlas mientras se llevan a cabo las diferentes maniobras.

En particular, el ET ha sabido adaptarse a esta necesidad con la creación de una estación de Transmisiones (que se desarrollará posteriormente) que permite el enlace satélite en movimiento creando así un Puesto de Mando Móvil (PCMOV).

Como conclusión de esta sección, indicar que la tecnología satélite está cobrando a día de hoy una gran importancia, destacando sobre todo la tecnología de comunicaciones de satélite en movimiento, SOTM. Por ello, los HELO's deben adaptarse a los cambios en las comunicaciones y deben saber aprovechar las enormes ventajas que la comunicación satelital nos proporciona, y por tanto, integrar en los mismos el SOTM con el objeto de conseguir desarrollar un PCMOV capaz de dirigir la maniobra de las unidades desde el aire.

### 3.3. *Terminales SOTM en el mercado.*

Dividiremos nuestro estudio atendiendo a las soluciones encontradas en el mercado, referentes a los terminales SOTM. En primer lugar, los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT o UAV) tanto militares como civiles. En segundo lugar, las soluciones que ha encontrado el ET con la plataforma "SORIA". Por último, las soluciones de contingencia que se han encontrado en el medio aéreo con los terminales "IRIDIUM" y terminales "BGAN".

#### *UAV*

Actualmente, como es de sobra conocido, los sistemas UAV (o drones) son cada vez más utilizados tanto en el ámbito civil como en el ámbito militar. Estos sistemas permiten realizar tareas de reconocimiento, exploración de zonas, e incluso ataques, y todo ello sin implicar vidas humanas.

Además, los UAV son utilizados en el ámbito civil para diferentes tareas: facilitar el control y las tareas de agricultura y ganadería, realizar grabaciones, etc.

Debido a la naturaleza de las misiones realizadas por los UAV, en las que el principal objetivo de las mismas es la información, el principal elemento de estos sistemas deberán ser las comunicaciones, por lo que hoy en día, como dice Eugenio Rodríguez en *Las comunicaciones por satélite militares* [3] "*las necesidades de disponer de mayores capacidades en red, se traducen en una creciente dependencia de las comunicaciones por satélite*". Por tanto, una vez más, se entiende la vital importancia de las comunicaciones satelitales, y que estas deben darse en movimiento y con seguridad.

En primer lugar, cabe mencionar el desarrollo de la tecnología SOTM en los UAV, donde encontramos diferentes proyectos civiles, destacando la continua inversión y mejora que se está realizando en el campo de las comunicaciones satélites para implementar unas comunicaciones satélites más rápidas, efectivas y con mayor ancho de banda.



Imagen 2. Terminal satélite UAV Fuente: Álava Ingenieros

Para ejemplificar terminales satélites capaces de comunicarse en movimiento desde un avión no tripulado ilustramos en la imagen de la izquierda el sistema satelital diseñado por *ZODIAC DATA SYSTEMS* [4]

A su vez, estas continuas investigaciones en el ámbito civil tienen eco en el mundo militar. Un ejemplo de ello son las diferentes pruebas que se han llevado a cabo en colaboración con la Academia General del Aire (AGA), en las que se utilizó la comunicación satélite una vez que la *Line Of Sight* (LOS) se había perdido [5].

Así, por tanto, continuaremos nuestro análisis con los diferentes UAV militares con los que cuenta actualmente el ET como son la Plataforma Aérea Sensorizada de Inteligencia (PASI) y el Sistema Integrado de Vigilancia Aérea (SIVA). Ambos UAV,s se caracterizan por la gran autonomía y el alcance de desplazamiento que son indispensables para el desarrollo de misiones de reconocimiento y vigilancia, evidenciando una vez más la importancia que tiene para estos sistemas de armas transmitir la información en tiempo real y con la mayor calidad posible.

A su vez, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) está desarrollando una plataforma, la plataforma “MILANO”, donde el elemento principal de las comunicaciones es el satélite y más en concreto el SOTM, tanto para el control del aparato como para la transmisión de la información recopilada por éste al elemento en tierra. (Especificaciones técnicas del “MILANO” en el [Anexo 1](#)).

#### *SOTM en el ET.*

En la actualidad, el ET ha conseguido cubrir la necesidad del SOTM en plataforma terrestre con la estación “SORIA” (ver ilustración más abajo), una estación capaz de realizar comunicaciones vía radio y vía satélite, convirtiéndola en una de las estaciones más modernas y polivalentes del ET. La estación “SORIA” tiene dos posibilidades, por una parte, puede ser utilizada en modo estacionario, mediante la conexión a la red eléctrica o a un grupo electrógeno externo, y por otra parte puede ser empleada utilizando el grupo electrógeno interno consiguiendo así las comunicaciones en movimiento. Las transiciones entre una fuente de alimentación y otra se consiguen mediante unas baterías de respaldo.

Una de las principales características de esta estación es el SOTM, un sistema satélite denominado SOTM-B que trabaja dentro del SECOMSAT. Este sistema satélite SOTM-B utiliza una antena capaz de soportar velocidades de  $400^\circ/\text{s}$  y aceleraciones de  $1000^\circ/\text{s}^2$ . Además, posee un sistema de seguimiento del satélite, integrado por la *Antenna Control Unit* (ACU) y a su vez por el *Internal Navigation System* (INS), que utilizando diferentes algoritmos permite actualizar automáticamente el apuntamiento de la antena tanto en elevación como en acimut.

El sistema SOTM del “SORIA” requiere a su vez de diferentes subsistemas. Entre ellos destacamos el subsistema de antena, el subsistema de control de antena, el subsistema de radiofrecuencia, el subsistema de banda base, el subsistema Comprobación de Alarmas y Control (CAC) y finalmente los equipos auxiliares. A todo ello hay que sumarle el sistema de alimentación anteriormente mencionado. (Especificaciones técnicas en el [Anexo 2](#).)



Imagen 3. SOTM en la estación SORIA sobre vehículo VAMTAC Fuente: Ibetor

Por tanto, la estación “SORIA” ha significado la solución a los problemas del ET en cuanto al SOTM con unas comunicaciones seguras y robustas. Sin embargo, cabe destacar que esta red satelital utiliza la red SECOMSAT, es decir, satélites militares y, por consiguiente, no es una red satelital de cobertura global y sólo podrá actuar en aquellas zonas en las que el satélite Español, “HISPASAT”, y la parte correspondiente al Estado Español del satélite “X-STAR” tengan cobertura.

### *Comunicación satelital en los HELO’s.*

Continuando con el estudio de las comunicaciones satelitales dentro del ET se llega a las unidades de HELO’s. Estas unidades actualmente no cuentan con ninguna instalación de satélite en movimiento. Por ello, se utilizan terminales civiles de conexión satélite, más concretamente los terminales “IRIDIUM”, que aparecen más adelante en la imagen 4, que también se han utilizado en tierra cuando no estaba disponible la estación “SORIA”. Estos terminales tienen como

principal ventaja su fácil manejo y su cobertura global. Sin embargo, encuentran grandes inconvenientes para su uso debido a la poca seguridad que ofrecen y al alto coste que suponen, ya que los satélites empleados son de propiedad privada. Por tanto, y según el Comandante Pedro Herrera Cruz, *Los Communication Information Systems (CIS) para el Mando y control en Afganistán, 2014*, “Estos terminales debido a la indiscreción de sus comunicaciones (son medios no seguros) han constituido el medio de enlace cuando no se ha podido establecer la comunicación por otros medios o cuando la situación táctica ha requerido de un enlace rápido”.

La red “IRIDIUM” cuenta con 66 satélites de baja órbita que cubren el globo terrestre, de esta manera, cuando se realiza una llamada satelital mediante un terminal “IRIDIUM”, que se puede observar más abajo en la imagen 4, la señal utiliza los satélites cercanos como repetidores, para así a través de “rebotes” en los diferentes satélites llegar al objetivo final, consiguiendo la tan ansiada cobertura global y el enlace satélite (sin seguridad y de baja capacidad) en las aeronaves.

A pesar de que en los HELO’s actualmente no se utiliza el terminal BGAN, este es otro de los terminales civiles que permitirán cobertura global y una fácil colocación (cuenta, como los terminales “IRIDIUM” con grandes problemas de seguridad). Este tipo de terminales se basan en la red “Inmarsat” de características similares a la red “IRIDIUM” anteriormente mencionada.

El terminal “BGAN” 727, presente más adelante en la imagen 5, será el utilizado por el ET en los vehículos terrestres y exigirá la instalación de una antena de reducido tamaño, esto permite que este terminal obtenga una mayor tasa de envío de datos.



Imagen 4. Terminal “IRIDIUM”. Fuente: “IRIDIUM”

Imagen 5. Terminal “BGAN”. Fuente: Inmarsat

#### **4. Motivación**

La necesidad de llevar a cabo el trabajo de fin de grado acerca de la implementación de terminal satélite en helicópteros radica en la importancia de las comunicaciones satelitales para las misiones de las FAMET.

Como ya se ha comentado anteriormente los HELO's se caracterizan por realizar unas operaciones profundas con un rango de más de 100 km de distancia con respecto a los puestos de mando de la unidad. Estas operaciones pueden ser de varios tipos, ya sea de transporte, maniobra, reconocimiento, etc. Sin embargo, todas ellas tienen un denominador común, la necesidad de establecer comunicaciones con el mando.

Los HELO's por su cometido táctico desarrollan operaciones en las que se necesita tratar gran cantidad de información en el menor tiempo posible. Por ejemplo, puede darse el caso de que un HELO necesite enviar una fotografía para identificar si se encuentra o no ante un objetivo.

A día de hoy, estas comunicaciones no se pueden realizar a la distancia que operan los HELO's. Por tanto, estos aparatos deben acercarse o aterrizar en el puesto de mando y en este momento tratar la información, con el consiguiente retraso e ineficacia en las operaciones.

Por todo ello, se considera de vital importancia la implantación de un terminal satélite en el HELO, de manera que nos permita la transmisión de información en movimiento con un considerable ancho de banda. Este ancho de banda cambiaría drásticamente la manera de operar de los HELO's permitiendo una mayor versatilidad en las operaciones, mayor sincronización con los puestos de mando y mayor iniciativa, que se traducirá tanto en mayor potencia de fuego como en mejor capacidad de maniobra.

#### **5. Objetivo y clave del éxito.**

El objetivo del trabajo consiste en instalar una plataforma de comunicación satélite en el HELO de manera que se pueda dotar de comunicaciones satélite, es decir, voz y datos vía satélite, a un puesto de mando embarcado en el mismo.

La clave del éxito del trabajo residirá en conseguir establecer unas vías de actuación claras para el desarrollo de este terminal satélite en HELO. Se considerará que el trabajo ha alcanzado sus objetivos si supone un punto de inicio para investigaciones futuras que sigan la línea aquí planteada.

## 6. Metodología

La realización del trabajo se llevó a cabo en diferentes etapas que se describen a continuación:

- *Recopilación de información.* El objetivo en esta etapa fue conocer el estado del arte y la situación de las comunicaciones en los HELO's. Además, también se investigó sobre las problemáticas presentes en las comunicaciones.

- *Entrevistas.* Se llevaron a cabo con diferentes expertos: con el personal de la base, con empresarios e ingenieros expertos en comunicaciones, así como con mecánicos y expertos en HELOS. A continuación, se detalla el proceso seguido:

1. *Pilotos.* En primer lugar, se realizaron entrevistas con pilotos de HELO's así como con cuadros de mando que ejercen el control de las operaciones embarcados en los HELO's. De esta manera se buscó entender el empleo táctico de los HELO's así como las necesidades de comunicaciones de los mismos.

2. *Personal de Transmisiones.* Posteriormente, se contactó con diferentes expertos de la Compañía de Transmisiones de las FAMET, para conocer las capacidades y posibilidades que nos podían ofrecer los equipos actuales, a la vez que las posibles vías de actuación.

3. *Mecánicos.* Una vez se tuvo una idea clara de la instalación del SOTM y de las diferentes alternativas posibles (terminales satélites en el mercado), se procedió a contactar con los mecánicos del Parque Central de Mantenimiento de Helicópteros (PCMHEL), que proporcionaron información acerca de las posibilidades de colocación de las diferentes antenas y equipos.

4. *Ingenieros politécnicos.* Finalmente, cuando ya se tenía una idea clara de qué es lo que se buscaba y cómo se quería implementar, se procedió a contactar nuevamente con los Ingenieros politécnicos del PCMHEL, a los cuales se les consultó acerca de la información relativa al proceso de certificación de los HELO's

- *Contacto con empresas y unidades militares.* Tras las comunicaciones con los diferentes expertos y con la idea clara de lo que se buscaba en el terminal satélite, se realizaron diferentes visitas a empresas, como "INDRA" o "IBETOR", y también a unidades militares, como la Unidad Militar de Emergencias (UME).

- *Estudio.* Con toda la información conseguida y los diferentes terminales satélite disponibles, se analizaron las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Además, se llevó a cabo una propuesta que pretendía solventar los

problemas presentes en las diferentes alternativas, implementando y proponiendo nuevos equipos en las mismas.

- *Conclusión.* Finalmente, se propuso la posible implementación del terminal satélite, así como se desarrollaron líneas futuras de actuación en pos de conseguir el objetivo final del trabajo, la implementación del terminal satélite en plataforma aérea.

## **7. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.**

Como se ha mencionado en la motivación, es de vital importancia la implantación de un terminal satélite en el HELO. Las comunicaciones en los HELO's deberán proporcionar la capacidad de establecer el enlace en movimiento y a gran distancia, para permitir desarrollar las misiones de reconocimiento y transporte de tropas típicas de los HELO's.

Para el desarrollo óptimo de estas misiones, se considera necesario un ancho de banda en torno a los 512 Kbps, según entrevistas con diferentes mandos expertos en la conducción de operaciones con este tipo de aeronaves. Sin embargo, la instalación de estos terminales satélite embarcados en plataforma aérea no resulta fácil y por ello se deberá acotar el estudio de esta instalación a determinados HELOS's. Dentro del objetivo del ET deberá priorizarse la instalación de los terminales satélites en los recién entregados NH-90. Sin embargo, los HELO's de las FAMET HT-27 o Cougar, y HU-21<sup>2</sup> o Superpuma, a pesar de su dilatado tiempo de servicio, se prevé que durarán bastante tiempo en el ET, por lo que su adaptación al terminal SOTM se considera también de vital importancia. Se excluirán de este estudio los HELO's Chinook debido a que su cometido principal es el transporte de tropas y no resulta viable la instalación de un PCMOV en los mismos. Por tanto, este TFG se centrará en la adaptación los HELO's de las FAMET para permitir la instalación en los mismos de una plataforma satelital.

Para comenzar con el estudio de esta instalación se enumerarán varios de los problemas que se han encontrado a la hora de implantar los terminales satélites:

- *Colocación.* Interferencias de las palas con la antena satélite, dificultando de este modo las posibilidades de colocación de la antena en el casco. Este será uno de los principales problemas con los que contará esta instalación.

- *Movilidad.* Gran variedad de movimientos que realiza el HELO. Incidiendo de nuevo en la problemática de colocación de la antena.

- *Conectividad.* Necesidad de conexiones de las diferentes antenas con el interior del HELO

---

<sup>2</sup> Destacar el gran parecido estructural entre los HELO's Cougar y Superpuma.

- *Seguridad.* Necesidad de seguridad en las comunicaciones
- *Alimentación.* Dificultad de alimentación de los diferentes equipos, obligatoriedad de cumplir las normas aeronáuticas.
- *Equipos interiores.* Instalación de los equipos en el HELO.
- *Certificaciones.* Obligatoriedad del HELO de cumplir con las diferentes certificaciones. Las certificaciones consisten en la aprobación de las modificaciones llevadas a cabo en las aeronaves, los motores y las hélices. Estas certificaciones serán necesarias para que una aeronave pueda volar. En particular, existen dos tipos de certificaciones:

- *Certificaciones mayores.* Aquellas que tienen un efecto apreciable sobre el peso, el centrado, la resistencia estructural, el software, la fiabilidad o en general todas aquellas modificaciones que afecten a la aeronavegabilidad de la aeronave. Por ejemplo, la modificación de las palas del HELO.

- *Certificaciones menores.* Aquellas que no sean una certificación mayor, es decir, aquellas que no afecten a la aeronavegabilidad de la aeronave. Por ejemplo, la redistribución de los asientos en el interior del HELO.

Por otra parte, tiene gran importancia determinar quién podrá aprobar cada una de las certificaciones, las certificaciones mayores, que sólo pueden ser aprobadas por el INTA, y las certificaciones menores, que pueden ser aprobadas por cualquier organismo del ET que cumpla ciertos requisitos: que sea usuario del material, que haya diseñado la modificación, que la aprobación pueda ser firmada por un ingeniero aeronáutico y que exista en este organismo un departamento responsable del mismo. La importancia de esta diferencia radica en el tiempo de gestión que necesita cada certificación, siendo mucho más elevado en el caso de las certificaciones mayores aprobadas por el INTA.

## 8. Alternativas disponibles en el mercado

En primer lugar, a la hora de realizar la comparación entre las diferentes alternativas del mercado para la implementación del SOTM en terminal aeromóvil, se han de analizar los diferentes problemas a los que nos enfrentamos, ya expuestos en el apartado anterior. En este apartado se expondrá como responde cada alternativa ante los problemas planteados, estos son: colocación, movilidad, conectividad, seguridad, alimentación, equipo interior y certificaciones.

Las alternativas disponibles serán las mencionadas en el estado del arte. En particular, el terminal SOTM-B de la estación "SORIA" y los terminales "IRIDIUM" y "BGAN" de las redes civiles. El primero de ellos destaca por ser un terminal de gran readquisición del satélite; que trabaja en banda X (SECOMSAT), con un peso aproximado de 80 Kg y de un consumo de alrededor de 15 A. Además, este terminal cuenta con varios subsistemas de gran tamaño y fiabilidad ([Anexos 2 y 3](#)); En segundo lugar, los terminales "IRIDIUM" y "BGAN" destacan por su ligereza, adaptabilidad y fácil instalación, sin embargo, no podrán operar en banda X, apareciendo así el gran problema de estos terminales, la seguridad ([Anexo 4](#)).

### 8.1. *Respuesta de las alternativas ante los problemas planteados*

En cuanto a las alternativas que se encuentran en el mercado, podemos destacar que todas ellas a la hora de enfrentarse a los problemas anteriormente mencionados encuentran barreras insalvables. A continuación, la tabla 1 sintetiza cómo responden estas alternativas ante los problemas planteados.

TABLA 1	Alternativas del mercado		
Problema planteado	SOTM-B	IRIDIUM	BGAN
Colocación	Debido a su alto peso y consumo, la única posibilidad sería en el cuerpo del HELO, debajo de las palas. Añadiendo al cuerpo 29 cm de altura.	Gran versatilidad. No necesita de antenas. Terminal móvil y versátil.	La colocación se podría realizar tanto en la cola como en el rotor del HELO. Bajo peso (8,4 Kg) y bajo consumo del subsistema de antena.
Movilidad	Aceleración de la antena de $1000^0/s^2$ y velocidad de $400^0/s$ lo que otorga una gran capacidad de readquisición del satélite, en menos de 2 segundos.	Capacidad de ser utilizado en movimiento.	Capacidad de establecer comunicaciones en movimiento.
Conectividad	Debido a los altos consumos, la única posibilidad de conectar el subsistema de antena con el resto del terminal deberá ser vía cable. Proporciona suficiente ancho de banda, máximo de 1 Mbps.	No necesita de más equipos que el propio teléfono satélite, lo que facilita su instalación. Imposibilidad de envío de datos.	Posibilidad de conexión con el teléfono satélite vía inalámbrica o bien vía cable, dependiendo de si se coloca en el rotor o en la cola respectivamente. Permite mayor ancho de banda.
Seguridad	Utiliza la red SECOMSAT ya que trabaja en banda X. Terminal Seguro.	Utiliza redes civiles, incurriendo en graves riesgos de seguridad.	Utiliza redes civiles, incurriendo en graves riesgos de seguridad.
Alimentación	Gran consumo de subsistema de antena y de control de antena, imposibilidad de uso de baterías. Consumo aproximado de 15 A. imposibilidad de utilizar grupo electrógeno dentro del HELO.	Terminal con autonomía en conversación de hasta 4 horas.	Terminal con bajo consumo que podría ser alimentado vía cable o mediante baterías.
Equipo interior	Equipo interior voluminoso. Posibilidad de adaptación en rack <sup>3</sup> trasero del HELO.	Equipo interior insignificante, simplemente el propio teléfono satélite.	Como equipo interior sólo cuenta con un router de 2,4 Kg y el teléfono IP.
Certificaciones	Necesidad de modificar el casco del HELO. Se incurriría en una certificación mayor.	No sería necesaria ninguna certificación.	No necesitaría de grandes certificaciones debido a su bajo peso y reducido tamaño.

<sup>3</sup> Soporte metálico de medidas normalizadas destinado a alojar equipamiento electrónico informático y de comunicaciones.

Utilizando la tabla 1, podemos extraer las siguientes conclusiones de las alternativas propuestas ante los problemas planteados:

- *Colocación.* Los terminales civiles “IRIDIUM” y “BGAN” serán capaces de solventar este problema. Sin embargo, el terminal SOTM-B debido a su peso y sus dimensiones encontraría aquí una problemática insalvable.
- *Movilidad.* Todos los terminales son capaces de conseguir comunicaciones satelitales en movimiento.
- *Conectividad.* La conectividad con los equipos interiores podrían realizarla todos los terminales planteados vía WIRELESS o mediante cableado.
- *Seguridad.* Los terminales “IRIDIUM” y “BEGAN” encontrarían su máxima debilidad al no poder trabajar en frecuencia X usando el SECOMSAT, al contrario que el SOTM-B.
- *Alimentación.* De nuevo, el SOTM-B posee grandes problemáticas debido al alto consumo tanto de su subsistema de antena como del subsistema de control de antena.
- *Equipo interior:* En este apartado no radica la complejidad de la instalación, ya que se encontrará espacio suficiente en el interior del HELO.
- *Certificaciones.* Resultado de todo lo anteriormente expuesto, el SOTM-B incurriría en certificaciones mayores al contrario que sus competidores.

En conclusión, las posibilidades que se encuentran actualmente en el mercado no son capaces de solventar todos los problemas a los que se enfrenta el SOTM sobre plataforma aérea. Por tanto, se deberán adaptar estas alternativas y convertir las mismas en viables, aprovechando aquello positivo que cada posibilidad nos ofrece y adaptando aquellas dificultades que presentan.

## 9. Propuesta

Como se ha dicho anteriormente, ninguna alternativa disponible en el mercado soluciona la problemática para la implementación del SOTM en plataforma aérea. La propuesta buscada se valorará de la misma manera que se han analizado las alternativas del mercado, es decir, contemplando la reacción de la propuesta ante los siete problemas principales que encontramos para la instalación del SOTM (colocación, movilidad, conectividad, seguridad, alimentación, equipo interior y certificaciones). La problemática se solventará gracias a la utilización de equipos ligeros y de tamaño reducido, que tengan además una correcta eficiencia energética. Además, se buscará que estos equipos cumplan con los objetivos buscados, en cuanto, por ejemplo, a ancho de banda y seguridad. Sin embargo, estos equipos no deberán ser más complejos de lo necesario, para así simplificar el sistema y aprovechar los sistemas. Por ejemplo, si se busca un ancho de banda de 512 Kbps, no se deberá instalar una antena que sea capaz de manejar 20 Mbps.

1. Colocación. La dificultad en la colocación del terminal satélite radica en la antena, lo que supone uno de los mayores desafíos de la propuesta buscada. El principal inconveniente a la hora de instalar la antena satélite son las interferencias causadas por las palas del HELO, que dificultarían en gran medida las comunicaciones ya que, según estudios realizados por *José Gabriel Iglesias Samperio, director de "INDRA" espacio "Entre el 5% y el 10% del tiempo las palas del HELO interrumpen las comunicaciones entre antena y satélite"*.

De modo que se estudiarán las diferentes posibilidades de instalación de la antena (rotor, cuerpo y cola del HELO) con sus pros y contras:

- Encima del rotor. Esta opción ha sido la elegida en casos como el HELO Tigre en el ET, como se puede apreciar en la imagen de la izquierda, para implementar elementos como cámaras o sensores. Sin embargo, a pesar de solventar el problema de las interferencias con las palas ofrece serias complicaciones para la instalación en el caso de los HELO,s HT-21 Cougar.



Imagen 6. HELO Tigre. Fuente: Eurocopter



El rotor de este aparato, que se puede apreciar en la imagen de la izquierda, no permite el paso de conexiones vía cable a través del mismo, lo que complica tanto la alimentación como la transmisión de la información. Por otra parte, la parte superior de las palas gira solidaria a las mismas, complicando la instalación de una antena capaz de mantenerse conectada al satélite a semejantes revoluciones. Finalmente, el rotor ofrecerá grandes vibraciones a la antena, dificultando su funcionamiento. Esta solución sin embargo es la que se propondría para HELOS,s de nueva fabricación, ya que si el aparato esta adaptado resulta la más idónea.

Imagen 7. HELO HT-21. Fuente: Elaboración propia

- En el cuerpo del HELO. La posición propuesta se aprecia en la imagen 8. En este caso, se tendrían que realizar modificaciones en el casco para conseguir pasar los cables de la antena al interior del HELO, debido a que en determinadas antenas el alto consumo eléctrico hace inviable el uso de baterías. Sin embargo, esta colocación se enfrentaría de nuevo al problema de las interferencias en la transmisión de la señal a causa de las palas, que podría salvarse con la utilización del módem Idirect. Este módem transmite a ráfagas, es decir, la señal que mantiene la comunicación con el satélite se emite intermitentemente. Por tanto, si se sincronizan estas ráfagas de la señal con las revoluciones de las palas del HELO y emitiendo paquetes por duplicado cada cierto tiempo, es decir, mandar un mensaje cada x tiempo dos veces, se conseguiría eliminar el problema de las palas. Las modificaciones que deberían realizarse en el HELO involucrarían al mismo en modificaciones mayores, significando grandes gestiones, retrasos y trabas.



Imagen 8. HELO HT-21. Fuente: Elaboración propia

- En la cola del HELO. Esta opción nace del intento de adaptar el HELO HT-21 sin realizar grandes modificaciones y consiguiendo dar alimentación a los elementos externos del satélite. El HELO HT-21 tiene en la cola una luz de formación (como se aprecia en las imágenes más adelante). Por tanto, se podría colocar la antena satélite en la posición de esta luz. De esta forma, se aprovecha el espacio del cable de esta luz para pasar tanto la alimentación como la transmisión de la antena a los equipos. Esta solución solventaría la problemática de interferencias con las palas superiores, apareciendo interferencias sólo cuando la antena apunte en dirección a las palas traseras. La mayor dificultad que se encontraría a la hora de colocación en este punto serán las certificaciones en cuanto a pesos y aerodinámica. Por ello, la antena colocada deberá ser lo más ligera y reducida posible.

La manera de instalar el terminal satélite en la cola del HELO sería utilizar la posición privilegiada de la luz de formación. Como se puede apreciar en la imagen inferior, la luz de formación (luz plana debajo de la luz de posición) puede ser substituida y dejaría espacio suficiente para la implantación de una plataforma para la antena satélite y a su vez para el paso de la polea que sujeta la misma. Siendo esta, por tanto, la opción elegida.



Imagen 9. Luz de formación. Fuente: Elaboración propia



Imagen 10. Rotor de cola. Fuente: Elaboración propia

2. Movilidad. Se deberá recurrir a un sistema satelital capaz de establecer conexión en la mayor parte de los movimientos del HELO, admitiendo qué en maniobras extremas, tipo loopings, esta se perderá. Se deberá elegir entre una antena de dos o tres ejes. La diferencia entre ellas radica en que las antenas de tres ejes tienen un plano de rotación más, son capaces de apuntar hacia arriba o hacia abajo completamente, esto permitirá que la comunicación no se pierda en casos en que el satélite este justo a 90° del aparato. Sin embargo, las antenas de dos ejes ofrecen un mucho más bajo perfil y peso. Por tanto, considerando puntuales las situaciones en que el satélite esté justo en la vertical, se optará por una antena de dos ejes.

3. Conectividad. Distinguiremos dos etapas del terminal satélite. En la primera etapa, desde la antena hasta el módem, todo irá conectado vía cable, utilizando el agujero del cable de la luz de formación. La segunda etapa conecta el módem con el resto de equipos, utilizando una conexión inalámbrica.

4. Seguridad. Se utilizará la red SECOMSAT, para conseguir unas comunicaciones seguras y fiables, por lo que será vital que el terminal trabaje en banda X.

5. Alimentación. Se propondrá alimentar todos los subsistemas que forman el terminal satélite mediante la corriente del HELO. Además, se usarán baterías de respaldo para el subsistema de banda base y los equipos personales.

6. Equipos interiores. Para la instalación de los subsistemas que deberán ser instalados dentro del HELO se proponen dos racks, uno con el subsistema de control de antena y otro con los subsistemas de banda base y explotación.

7. Certificaciones. En pos de facilitar las mismas, se buscarán equipos ligeros y reducidos y equipos interiores seguros y correctamente anclados.

### **9.1. Equipos propuestos y análisis.**

En este apartado, se propondrán los diferentes equipos que formarán el terminal satélite buscado. Estos equipos se regirán por los criterios de ligereza y reducido tamaño, se buscará además utilizar equipos que se encuentren ya dentro del ET y que sean lo más fáciles de utilizar para el operario.

Para realizar la propuesta del terminal satélite buscado se analizarán todos los equipos que lo integran, desde el satélite utilizado hasta los equipos personales. Desglosándolo en satélite, subsistema de antena y subsistema de control de antena, subsistema de banda base, equipos personales, alimentación y equipo interior. Todos ellos se analizan a continuación y se presentan de forma esquemática en la siguiente imagen.

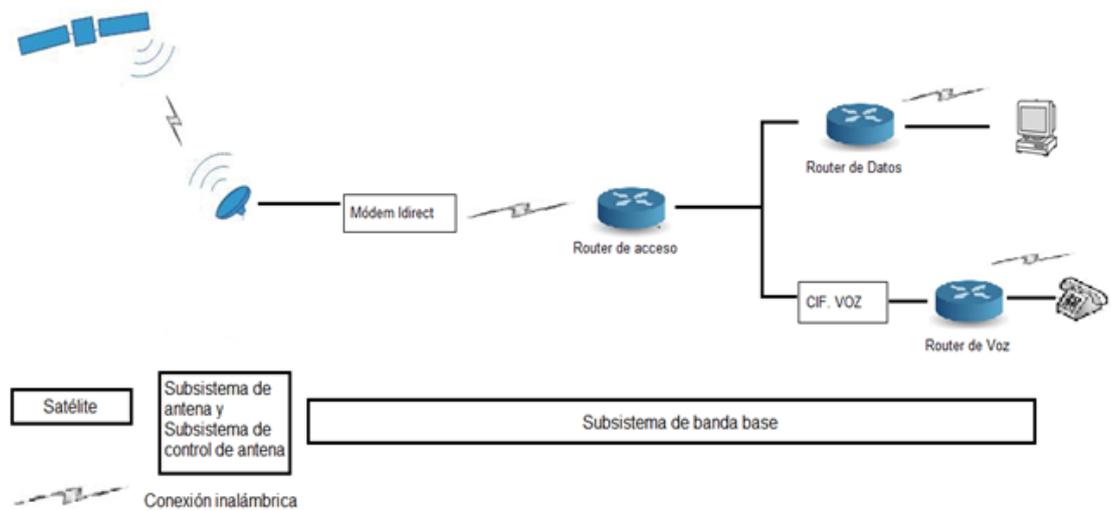


Imagen 11. Diagrama del terminal satélite propuesto. Fuente: Elaboración propia

### Satélite:

Se buscará utilizar el satélite Español “HISPASAT”, debido a la seguridad de las comunicaciones, ya que estas no utilizarán ningún satélite extranjero o privado. Además, para poder trabajar con cobertura satélite en la mayor parte del globo el Estado Español tiene alquilada parte de la carga útil del terminal “X-STAR”. Pagando por la potencia utilizada en el mismo. Por tanto, el uso será mucho más restringido, con mayor libertad en ZO pero limitado en territorio nacional.

Los terminales satelitales estatales trabajan en banda X. Sin embargo, se prevé que en el año 2022 los satélites evolucionen a la banda Ka, una banda civil que permite trabajar con unas antenas mucho más pequeñas y ligeras, ya que tienen mucha más ganancia<sup>4</sup>. Los satélites en banda Ka, como podemos ver en la imagen 12, gracias a la cantidad de haces que emiten permiten economizar el empleo de recursos y obtener mayores prestaciones. A diferencia de la banda X en que el número de haces es mucho más reducido. Por tanto, las necesidades actuales son de una antena capaz de trabajar en banda X pero con previsión de trabajar de manera no simultánea<sup>5</sup> en banda Ka.

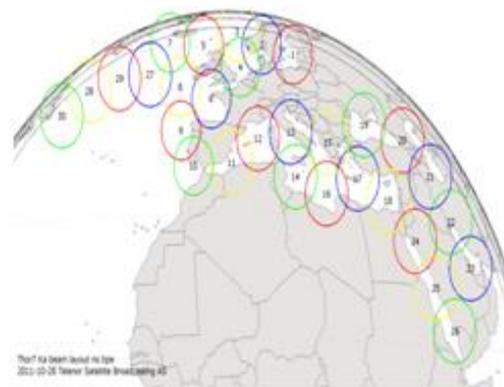


Imagen 12. Funcionamiento banda Ka. Fuente: INDRA

<sup>4</sup> La ganancia mide lo directiva que es una antena con respecto a una antena omnidireccional.

<sup>5</sup> Esto significa que cada cara de la antena trabaja en una frecuencia diferente.

### ***Subsistema de antena y subsistema control de antena.***

A continuación, se analizarán estos dos subsistemas, íntimamente relacionados. Según *José Gabriel Iglesias Samperio, director de "INDRA" espacio* "estos sistemas no se podrán encontrar en el mercado ya que se diseñan a medida para cada caso y función concreta". Por tanto, en este apartado no se intentará dar con una solución presente en el mercado, sino que se propondrán los diferentes requisitos, que deben cumplir los dos subsistemas, y posibles equipos cercanos a su cumplimiento.

- **Subsistema de antena.** Formado por la antena del terminal satélite. Representa la parte más crítica del terminal, por ello debe cumplir ciertos requisitos:

- I. Ligereza. La antena debe ser lo más ligera posible, ya que su colocación en la cola del HELO tiene gran influencia para la estabilidad del mismo.

- II. Reducido tamaño. La colocación en la cola tiene gran influencia en la aeronavegabilidad del aparato, por tanto, la antena deberá ser lo más reducida y con el menor perfil posible.

- III. Ancho de banda. La antena, que deberá trabajar en la banda de frecuencias X, deberá proporcionar un ancho de banda mínimo de 256, Kbps para garantizar la operatividad, y se buscará que llegue a los 512 Kbps.

- IV. Protección. Deberá contar con un radomo (elemento de protección de la antena) ligero y reducido que la proteja de las inclemencias ambientales.

Atendiendo a estos requisitos encontramos diferentes antenas capaces de solventar el problema del SOTM en el HELO:

- Antena ANTARES Multi-Platform. Ver imagen 13 a la derecha. Antena de tres ejes de reducido tamaño y con gran capacidad. Sin embargo, a pesar de su reducido peso de 35 Kg, incluyendo el módem y el subsistema de control de antena, este sigue siendo excesivo para su colocación en la cola del HELO. (especificaciones técnicas en el [Anexo 5](#))



Imagen 13. Antena ANTARES. Fuente: THESLA

- Terminal ultraligero Man-Pack. Ver imagen 14 a la derecha. el peso de la antena es menor de 4 Kilogramos (Kg), lo que sería un peso aceptable para su colocación en la cola. Además, ofrece un ancho de banda de 700Kbps en las mejores condiciones y de 40 Kbps en las más adversas. Por tanto, este terminal cubriría con creces las necesidades del HELO. (Especificaciones técnicas en el [Anexo 6](#) ).

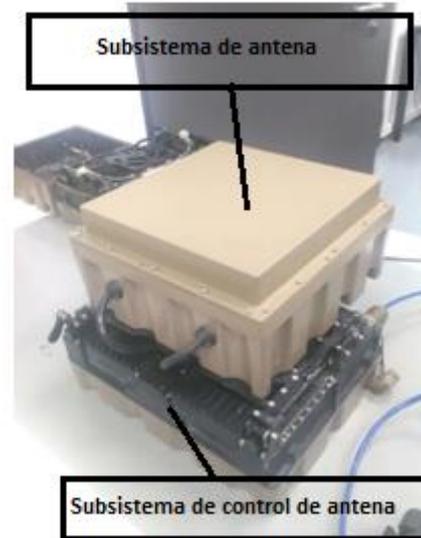


Imagen 14. Terminal Manpack. Fuente: IBETOR

Sin embargo, el terminal “Man-Pack”, no es aún un terminal SOTM, ya que no tiene la capacidad de moverse para permanecer conectado al satélite a pesar de los movimientos del HELO. Para ello, se deberá adaptar la plataforma que proporciona movimiento a la antena del SOTM-B, terminal satélite de la estación “SORIA” consistente en un conjunto de giróscopos<sup>6</sup>.



Imagen 15. Antena satelital SOTM-B. Fuente: Elaboración propia, IBETOR



Imagen 16. Antena satelital Man-Pack. Fuente: Elaboración propia, IBETOR

Como se puede observar en estas fotografías, (gracias a la comparación con el bolígrafo) el terminal SOTM-B es mucho mayor que el terminal “Man-Pack”. Por consiguiente, el sistema que otorgue movimiento a la antena del terminal “Man-Pack” deberá ser mucho más reducido y ligero. Según expertos de la empresa “IBETOR” la antena final podría significar un peso de 6-7 Kg.

<sup>6</sup> Elementos que permiten los diferentes giros de la antena.

Finalmente, se deberá tener en cuenta que el sistema que le otorgará movimiento (el conjunto de giróscopos) deberá cumplir dos requisitos: que la polea que lo une al HELO esté lo suficientemente anclada y tenga la fuerza para soportar tanto el peso como las aceleraciones del mismo, y que este conjunto de giróscopos sea capaz de compensar la aceleración angular del HELO, de manera que pueda estar continuamente apuntando al satélite.

- **Subsistema de control de antena.** Integrará elementos como la Unidad de Control de Antena (ACU) o el *Block up Converter* (BUC), encargados de controlar los movimientos de la antena y de transformar la señal de banda X a banda base respectivamente. Este subsistema deberá cumplir de nuevo con los requisitos de ligereza y reducido tamaño y contribuirá a la aeronavegabilidad del aparato, proponiéndose la instalación del mismo en la zona de carga del HELO (se explicará posteriormente).

Una vez más, para aclarar a qué términos hace referencia esta reducción de tamaño se comparará el equipo elegido con el equipo presente en el SOTM-B.

En la imagen 17 podemos ver el BUC y el *Low Noise Block* (LNB) del SOTM-B, que permiten el paso de la información de banda X a banda base, con un peso de 6 Kg y gran tamaño. Por el contrario, en el terminal satélite buscado se propone que se use tanto un BUC como un LNB de reducido tamaño y peso que puede estar integrado en una placa base, imagen 18 a la derecha.



Imagen 17. BUC y LNB, presente en el SOTM-B.  
Fuente: "IBETOR".

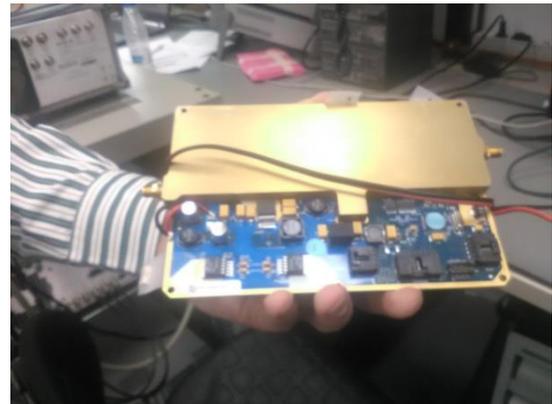


Imagen 18. BUC y LNB integrados en placa. Fuente:  
"IBETOR".



Imagen 19. MCU SOTM-B. Fuente: Manual estación SORIA

Además, se utilizará la *Motor Control Unit* (MCU), imagen 19 y el Inertial Navigation System (INS), del SOTM-B, encargadas de controlar los movimientos de la antena.



Imagen 20. ACU SOTM -B. Fuente Manual estación SORIA

Por otro lado, en la imagen 20 se muestra la ACU del SOTM-B, esta también quedaría reducida al usar el subsistema de antena del Man-Pack, presente en la Imagen 14.

### ***Subsistema de banda base.***

Este sistema distribuye y permite trabajar la información recibida por el satélite. Está formado por diferentes equipos (módem, *router* de acceso, cifradores y *routers* de voz y datos) que se analizarán a continuación.

- Módem. Se deberá elegir uno de los módems disponibles en el ET: módem de la plataforma “Paradise” y modem de la plataforma “Idirect”, cuyas características se definen a continuación:

- El módem “Paradise” trabaja con una banda reservada del satélite, es decir, para utilizar el módem Paradise será necesario haber realizado una Solicitud de Acceso Satélite (SAS) y haber recibido la propia Autorización de Acceso Satélite (AAS). Con esta AAS se autorizará a utilizar x megas del satélite durante un tiempo determinado, lo que permitirá tener garantizado cierto ancho de banda del satélite. Remarcar que se desaprovecha gran cantidad de megas ya que en el periodo que se tiene una AAS para utilizar el satélite no se está continuamente utilizando toda la capacidad que se ha proporcionado.

- El módem “Idirect”, presente en la imagen 21, basa su modo de trabajo en la utilización bajo demanda, es decir, si por ejemplo el módem quiere mandar en un momento determinado 250 Kb de datos mirará si el satélite tiene capacidad para mandar esta cantidad de datos. Si la tiene, procederá al envío de los mismos. De esta manera, se evita que se desaprovechen capacidades del satélite, ya que sólo se usan los megas o bytes necesarios durante el período que dure la comunicación.



Imagen 21. Módem Idirect terminal TLB-IP. Fuente: Idirect

Por tanto, analizando las características de los vuelos de HELO, vuelos que se dan de manera sorpresiva ante las diferentes emergencias y cuya duración no suele ser muy elevada, se considera de mayor efectividad utilizar un módem "Idirect", siempre y cuando se configure un mecanismo de prioridades en el módem, de modo que ningún HELO que se encuentre en ZO con necesidad satelital se quede sin la posibilidad de su uso.

Actualmente estos módems Idirect ya se están utilizando. Sin embargo, el módem propuesto será el módem Idirect 950 mp, presente en la imagen 22 a la derecha, de menor tamaño y peso, buscando de nuevo cumplir con los requisitos de ligereza y reducido tamaño. (Especificaciones técnicas de ambos módems en el [Anexo 7](#)).



Imagen 22. Módem Idirect 950 mp. Fuente: Idirect

Remarcar, que la antena seleccionada en esta propuesta es la perteneciente al terminal Man-Pack. A pesar de que en su subsistema de control de antena se encuentra incluido el módem compacto, en esta propuesta se substituirá por un módem Idirect 950 mp, debido a las ventajas que este nos proporciona

- *Router* de acceso. Buscará de nuevo cumplir con los requisitos de ligereza y reducido tamaño.

En esta propuesta se trabajará con el *router* MX 64 de la empresa "CISCO". Este *router* es muy ligero, 1,4 Kg, además, tiene un reducido tamaño. Por otro lado, este *router* "CISCO", que se ilustra en la imagen 23, pertenece a la familia "Meraki", que son actualmente la familia de *routers* más seguros de la empresa "CISCO".



Imagen 23. Router Meraki. Fuente: CISCO

Este *router* se colocará en un rack en el interior del HELO (se explicará posteriormente) junto al resto de elementos del subsistema de banda base que faltan por analizar (cifradores y *routers* de voz y datos). (Especificaciones técnicas en el [Anexo 8](#)).

Para llevar a cabo la conexión entre el módem “Idirect” y el *router* de acceso se utilizará una conexión inalámbrica, con el objetivo de conseguir una mayor versatilidad a la hora de colocar el resto de equipos del terminal y los asientos del HELO. Consiguiendo así, diferentes opciones de distribución en el HT-21. Con objeto de determinar qué tipo de conexión será la más óptima para este enlace, teniendo en cuenta criterios de ancho de banda, seguridad y alcance, se procederá a realizar una comparación entre diferentes tecnologías de conexión inalámbrica. En primer lugar se deberá decidir entre utilizar redes *Wireless Personal Area Network* (WPAN) o redes *Wireless Local Area Network* (WLAN).

Atendiendo a la tabla 2 y conociendo las características del terminal satélite buscado (máximo ancho de banda de 700Kbps, bajo consumo, tamaño ligero y mínimo alcance posible para evitar ser captados por la *Electronic War* (EW) enemiga, se utilizará una red WPAN.

TABLA 2	REDES	
CRITERIOS	WPAN	WLAN
Alcance	Alcance reducido de un máximo de 20 metros ofreciendo todas sus características.	Alcance elevado actuando con todas sus propiedades en un rango de 10 a 100 metros.
Infraestructura	Poca infraestructura necesita de adaptador para crear redes personales.	Poca infraestructura. Necesita de adaptadores para crear redes locales.
Consumo	Consumo ínfimo, autonomía de varios años en caso por ejemplo del Bluetooth LE (Low Energy).	Consumo reducido. Autonomía muy elevada.
Tipo de redes	Redes principalmente diseñadas para ser punto a punto.	Redes principalmente diseñadas para ser punto multipunto.
Tamaño	Tamaño de adaptadores muy reducido.	Tamaño reducido de los adaptadores.
Ancho de banda	Ancho de banda reducido. Rango de 2Mbps.	Ancho de banda elevado. Rango de 50 Mbps.

Dentro de estas WPAN habrá que decidir a su vez qué tecnología utilizar. Para ello, se distinguen diferentes posibilidades: la tecnología Infrared Data Association (IRDA), la tecnología Bluetooth, la tecnología Ultra Wide Band (UWB) y finalmente, la tecnología Zigbee.

Atendiendo a las características de las tecnologías anteriormente mencionadas, recogidas en la tabla 3, presentada posteriormente, se deberá desechar la opción de la tecnología IRDA<sup>7</sup>. Por otra parte, la tecnología *Zigbee* no tendrá una tasa de transmisión suficiente para el terminal satélite. En consecuencia, se deberá elegir entre la tecnología *Bluetooth Low Energy* (LE) y la tecnología *UWB*. *UWB* significará un mayor consumo y un desaprovechamiento de recursos. Además, resultara más fácil y económico encontrar en el mercado un dispositivo que nos permita realizar esta conexión *Bluetooth*. Por tanto, la tecnología *WIRELESS* elegida será la *Bluetooth LE*.

TABLA 3	TECNOLOGIAS			
CARACTERISTICAS	IRDA	Bluetooth LE	UWB	Zigbee
Necesidad de LOS	Si	No	No	No
Ancho de banda	4 Mbps	Dependiendo de las versiones. Bluetooth. Hasta 20Mbps	500 Mbps	250 Kbs
Alcance	Pocos metros	Hasta 100 metros	10 metros	Hasta 70 metros
Consumo	Alto consumo	Consumo ínfimo	Alto consumo	Consumo ínfimo

Sin embargo, no se podrá establecer esta conexión directamente entre el módem y el *router* de acceso y se necesitará para ello un dispositivo intermedio. El dispositivo elegido será una *raspberry pi* que tenga *Bluetooth LE* integrado. (*Raspberry pi* en el [Anexo 9](#))

El módem "Idirect" se conectará mediante un cable Ethernet a esta *raspberry pi* que transmitirá lo recibido vía *Bluetooth* a otra *raspberry pi* que irá conectada al *router* de acceso, consiguiendo así una conexión inalámbrica, entre los equipos de banda base, que dote al terminal de gran versatilidad.

<sup>7</sup> Debido a la necesidad de Line Of Sight (LOS).

- Cifradores. Este aparato se utiliza para codificar la voz y datos transmitidos. El cifrador elegido será del tipo voz C2 EP430S que es el único que se puede usar ya que es el único con certificado de la OTAN y suministrado por el Estado Mayor de la Defensa (EMAD). Este cifrador será imposible de eliminar debido a que el Centro Corporativo de Explotación y Apoyo (CECEA) no permite que unas comunicaciones tan críticas como la voz salgan al exterior sin haber sido tratadas, mediante un código pseudoaleatorio generado por un cifrador certificado del EMAD.

En la imagen 24 podemos ver el cifrador EP430- GN. Nótese que este cifrador no es el utilizado en el equipo propuesto sino el EP430 S. En este trabajo no se mostrarán fotos del mismo para garantizar la seguridad y confidencialidad del sistema.



Imagen 24. Cifrador EP 430GN. Fuente: Infodefensa

El subsistema de banda base se compondrá de dos cifradores EP430S, uno para cifrar la red de voz y otro para cifrar la red de datos. Sin embargo, y ya aprobado por el CECEA, se consideran los datos una comunicación menos crítica que la voz y por tanto circuitos de datos podrán funcionar sin la necesidad de este cifrador, simplemente configurando en los *routers* los mayores sistemas de seguridad. Así el subsistema de banda base propuesto estará formado por un solo cifrador para la red de voz.

- *Router* de Voz y datos. Estos *routers* pertenecerán a la empresa CISCO, debido a su capacidad de implementar seguridad y la calidad de los mismos. Suponen la mejor solución para llevar a cabo la conexión con los diferentes usuarios, creando así las diferentes redes de voz y datos. Para estas redes utilizaremos los routers de la gama “MERAKI” de “CISCO”, el mismo *router* utilizado como *router* de acceso, imagen 22.

Cabe destacar que a partir de este momento se llegará a los equipos utilizados por el personal. Para otorgar mayor versatilidad al sistema satélite y a su vez contribuir a las diferentes posibilidades del puesto de mando, es decir, contribuir a que el puesto de mando pueda ser desplegado en el exterior del HELO, alejando el Área Hertziana<sup>8</sup> del Área de Explotación<sup>9</sup>, se deberá tener en cuenta que estos *routers* de voz y datos podrán ir conectados, con los equipos personales, ya sea vía cable o vía “WIFI” para facilitar así el despliegue de los terminales IP con los que trabajará el usuario. Por tanto, la comunicación realizada entre los equipos finales y los *routers* de voz y datos podrá basarse en tecnología alámbrica o inalámbrica.

<sup>8</sup> Área donde se produce la radiación de las antenas.

<sup>9</sup> Área donde se hace uso del puesto de mando.

### ***Equipos personales.***

Se deberá tener en cuenta que la implantación de un terminal satélite en plataforma aérea obedece a la necesidad de este tipo de conexión por parte de un PCAEROMOV, de manera que se pueda llevar a cabo el mando de una operación desde el HELO. Por este motivo, se considera necesario la instalación de terminales telefónicos y terminales que permitan el tratamiento de datos, como por ejemplo una Tablet. Los equipos aquí mostrados se basan en su poco peso y facilidad en cuanto a la alimentación, ya sea por su gran autonomía como por la tecnología utilizada.

- Teléfono IP. Se seleccionará un teléfono de la familia de "CISCO". En este caso se ha optado por el teléfono IP 3911, presente en la imagen 25, que, con un peso de 505 gramos, continúa cumpliendo con la ligereza general del terminal. Además, encuentra una de sus principales ventajas en el modo de alimentación basado en el IEEE 802.3 *Power on Ethernet* (PoE) un estándar que hace referencia a la alimentación del terminal mediante el cable Ethernet, ahorrando así la necesidad de utilizar más cableado. (Especificaciones técnicas en el [Anexo 10](#)).



Imagen 25. Teléfono IP3911. Fuente: CISCO

- Tablet: en cuanto a la transmisión de datos y al tratamiento de los mismos se utilizará una Tablet debido de nuevo a su ligereza y reducido tamaño. Se propondrá una Tablet tipo "Xperia Z2" de la marca "SONY", presente en la imagen 26, que ofrece un peso de 426 gramos y unas dimensiones de 26,6cm x 17,2 cm x 0,64 cm, con tecnología WIFI integrada. Además, cuenta con 6 horas de autonomía a pleno rendimiento.



Imagen 26. Tablet "Xperia Z2". Fuente: SONY.

### ***Alimentación.***

La alimentación del subsistema de antena y del subsistema de control de antena se supone inviable de otro modo que no sea utilizando la potencia del HELO. Por tanto, estos subsistemas y el módem “Idirect” serán alimentados mediante la corriente creada con el HELO.

En cuanto a la alimentación del subsistema de banda base y de los equipos personales del terminal satélite, se podrá usar a su vez la corriente generada por el HELO. Sin embargo, en caso de que sea necesario usar esta corriente por los demás elementos del PCAEROMOV se utilizarán unas baterías que nos garanticen una autonomía mínima de dos horas para la alimentación de los tres *routers* (junto a las *raspberry pi*), el cifrador y los equipos personales. Los equipos personales no plantean ninguna problemática en cuanto a la alimentación, ya que cuentan con la tecnología PoE y con una gran autonomía en el caso de los teléfonos y la Tablet respectivamente. Las diferentes tomas de corriente que posee el HELO HT-21 se ilustran en el [Anexo 11](#).

### ***Equipos Interiores***

El subsistema de control de antena y el módem, perteneciente al subsistema de banda base, irán colocados aprovechando unos racks situados en la parte trasera del HELO que se pueden observar en la imagen 27 a la derecha.

El resto del equipo del terminal satélite, que incluirá los diferentes routers, cifradores e interfaces personales, se situará en cofres que permitan la colocación versátil de los mismos. Estos deberán ser lo más seguros posibles, destacando por ello la importancia de sus esquinas redondeadas, su bajo peso, etc. Para ello, se tomará el ejemplo de los cofres utilizados en la estación COLMENAR, creada por los expertos de Transmisiones de las FAMET, cofres de fibra ligeros y versátiles, en los que se puede incorporar elementos enrackables o por el contrario elementos de menores que el rack, con los diferentes



Imagen 27. Parte trasera del HELO HT-21. Fuente: Elaboración propia



Imagen 28. Cofre enrackable, estación COLMENAR.

Fuente: Elaboración propia

adaptadores necesarios. Estos adaptadores y los cofres propuestos se pueden observar en la imagen superior (imagen 28). Cabe destacar que en este proyecto tanto el rack como los adaptadores interiores del cofre deberán ser plásticos para contribuir a la ligereza del terminal.

El cofre que contenga el subsistema de banda base podrá soportar a su vez los terminales de uso personal ( a modo de mesa o apoyo). Por tanto, estos cofres se deberán colocar con los anclajes suficientes que permitan eliminar la vibración del HELO. Se usarán para ello los bloques <<silentblock>>, se pueden observar a la derecha en la imagen 29, que consisten en bloques antivibratorios y flexibles que absorben la vibraciones de elementos como motores. (Elementos interiores del HELO, [Anexo 12](#)).



Imagen 29. Bloque <<silentblock>>. Fuente: Elaboración propia

## 10. Conclusión

Este proyecto tiene una gran importancia para el futuro de las FAMET. Implementaría en los HELO,s unas capacidades de comunicaciones que permitirían cambiar por completo la doctrina de los mismos y renovar y adaptar estas aeronaves a la exigencia de las operaciones actuales.

En este trabajo se ha estudiado la viabilidad y posibilidad de instalación de un terminal satélite en plataforma aérea, para ello se analizaron las diferentes alternativas que presentaba el mercado. Una vez analizadas y entendida la problemática que presentaban se diseñó un sistema satelital que utilizase equipos presentes en el ET o ya desarrollados y que permitiese una viable instalación del terminal satélite. Además, esta propuesta busca en todo momento incurrir en certificaciones menores de modo que se fomente la facilidad y rapidez de una posible instalación del terminal propuesto.

Como conclusión la implementación de un terminal satélite en plataforma aérea necesitará de futuras investigaciones y de la continuación de este proyecto. Sin embargo, la instalación del mismo se considera posible y temprana siempre que cuente con el esfuerzo necesario por parte del Cuartel General de las FAMET y de las diferentes empresas desarrolladoras.

## 11. Líneas futuras.

En cuanto a las líneas futuras, se deberá seguir trabajando en la reducción de tamaño y peso. Se detallan diferentes campos donde se deberá llevar a cabo una fuerte investigación:

- Antena. Deberá continuar reduciéndose en peso y tamaño. Además, deberá continuarse la investigación acerca de la misma para lograr que la estabilización y la conexión con el satélite sean cada vez más eficaces. Por otra parte, deberá desarrollarse una antena capaz de trabajar de manera simultánea o no simultánea en la banda Ka.
- Certificaciones. El trabajo más extenso que se necesitará para la instalación de este terminal satélite recaerá en las certificaciones. Durante todo el trabajo se ha intentado que estas modificaciones sean certificaciones menores y que su influencia en la estructura y la aeronavegabilidad del HELO sea la menor posible.

En un proyecto futuro se deberán realizar las correspondientes certificaciones relativas a los siguientes elementos: colocación del equipo interior en el HELO, conexión inalámbrica entre el router y el módem, colocación de la antena sustituyendo la luz de formación y finalmente la comprobación de la aeronavegabilidad del aparato.

Cabe destacar que durante la realización de este trabajo se ha tratado de que las instalaciones propuestas sean lo menos agresivas posibles (criterios de ligereza y tamaño) para lograr que las certificaciones de las mismas sean todas certificaciones menores. Sin embargo, el hecho de considerar estas certificaciones como menores será también algo propio del estudio futuro que se propone, ya que los requerimientos para clasificar el tipo de certificación son algo más complejo y extenso.

## 12. REFERENCIAS

- [1] Teniente Coronel Alfonso Castilla Barea, Revista Ejército 903. Pag 76.
- [2] Ejército de Tierra, materiales. Fecha de consulta [13/09/2016].  
[www.ejercito.mde.es/materiales/index.html](http://www.ejercito.mde.es/materiales/index.html)
- [3] Eugenio Rodríguez , “Las comunicaciones por satélite militares”. Fecha de consulta [12/09/2016]. <http://www.fierasdelaingenieria.com/las-comunicaciones-por-satelite-militares/>
- [4] Álava Ingenieros, UAV SATCOM. Fecha de consulta [12/09/2016].  
<http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/instrumentacion-y-ensayos/avionica-y-ensayos-en-vuelo-uavrp/ensayos-en-vuelo-data-link/uav-satcom/>
- [5] UASPerson, “Realizadas con éxito las pruebas de UAV para su integración en el espacio aéreo”. Fecha de consulta [12/09/2016].  
<http://www.infouas.com/realizadas-con-exito-las-pruebas-de-uav-para-su-integracion-en-el-espacio-aereo/>
- [6] Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, INTA. Sistema MILANO. Fecha de consulta [13/09/2016] [www.inta.es](http://www.inta.es) > programasAltaTecnologia
- [7] Terminal Iridium. Fecha de consulta [20/09/2016] <https://www.iridium.com>
- [8] Terminal BGAN. Fecha de consulta [20/09/2016] [www.inmarsat.com](http://www.inmarsat.com) >service > bgan
- [9] Antena ANTARES MultiPlatform. Fecha de consulta [20 /09/2016].  
[www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/what-we-do-radio-communications-aircommunications/antares-family](http://www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/what-we-do-radio-communications-aircommunications/antares-family)
- [10] Módems Idirect. Fecha de consulta [22/09/2016].  
[www.idirect.net/Products/Satellite-Remote-Routers.aspx](http://www.idirect.net/Products/Satellite-Remote-Routers.aspx)
- [11] Raspberry pi 3. PcComponents. Fecha de consulta [13/10/2016].  
<https://www.pccomponents.com/raspberry-pi-3-modelo-b?gclid=CLSy-sm6vs8CFcoW0wodn5kBtg>

### Libros, revistas y manuales consultados

- Dirección General de Armamento y Material (DGAM). Procedimiento para la aprobación de modificaciones en aeronaves, motores y hélices. Fecha de edición [17/03/2006].
- Departamento de Técnica Militar, Transmisión de Datos, Redes de datos y comunicaciones inalámbricas. Entrada en vigor: Curso 2015-2016.
- Los CIS en Afganistán. Fecha de edición: 2014.
- Manual de Operación y Mantenimiento SOTM, Ibetor. Edición [04/09/2014].
- Manual de Operación y Mantenimiento Estación Soria. Edición: [04/09/2014].
- Comandante de Transmisiones Rodolfo Arroyo de la Rosa. *Revista Ejército, Las transmisiones militares en emergencias: un terreno nada desconocido*. Fecha de edición [03/2014].
- Cuartel General de las FAMET. *Revista Ejército: Las unidades de Helicópteros del ET: 50 años surcando los cielos*. Edición [06/2016].

Páginas webs consultadas:

---

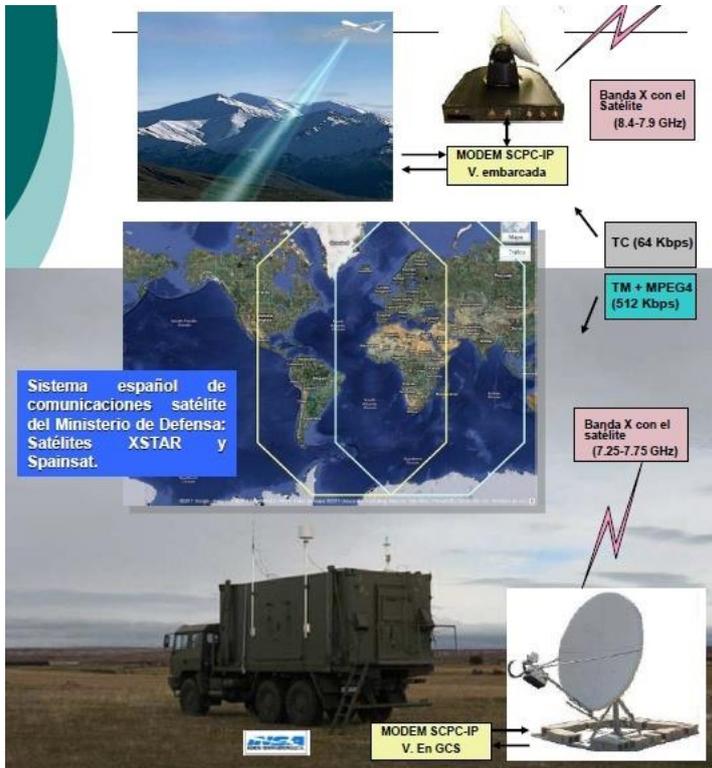
- <http://www.prepaysatphone.es/iridium-9575-extreme-telefono-satelite.htm>  
En esta página se han podido determinar las características técnicas del terminal satélite "IRIDIUM" 9575 extreme. Prepaid Satphone.
- <http://www.c-comsat.com/antenna/inmotion-ka/>  
En la que se han podido conocer diferentes posibilidades civiles con respecto a las antenas satelitales.  
<http://www.c-comsat.com/antenna/inmotion-ka/>
- [www.ejercito.mde.es/unidades/Madrid/famet/Helicopteros/index.html\\_1910061515.html](http://www.ejercito.mde.es/unidades/Madrid/famet/Helicopteros/index.html_1910061515.html)  
En esta página se ha verificado la organización y cometidos de las diferentes unidades de HELO's del ET.

Otros documentos consultados

---

- Área de comunicaciones e información, *Establecimiento de enlace satélite en banda Ka. Jefatura CIS.*
- XIV Jornadas UPM-FAS, *En la frontera de la tecnología aeroespacial.* Fecha de las jornadas [22,23,24 /11/2010].
- Anxo Tato, Carlos Mosquera, Iago Gómez, Universidad de Vigo. *"Link adaptation in mobile satellite links: field trial results"*. Junio de 2016, Vigo. Fecha de consulta [13/09/2016].
- Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN). *Tecnologías del espacio aplicadas a la industria y servicios de la defensa.*
- Ibetor. *Sat-On-The-Move terminal (IB-SOTM 100x).*
- INTA. *sistema SIVA y MILANO.*
- CISCO. *Router Meraki, Meraki\_whitepaper\_mx\_sizing\_guide.pdf.*
- CISCO. *Product\_datasheet\_CISCO Unified SIP Phone 3911.*
- INSTER. *Tecnologías y Comunicaciones, S.A. Productos SATCOM.*
- INDRA. *Terminal SATCOM táctico para aeronaves de ala fija y rotatoria.*
- Documento de necesidad operativa (DNO). *Terminales satélite en plataforma aérea.*
- Capitán D. Daniel García Izquierdo. *Reunión informativa terminales satélite sobre plataforma aérea.*

ANEXO 1



El sistema Milano utiliza la cobertura global satelital para poder llevar a cabo el control desde el elemento terrestre.

Este elemento terrestre se encuentra embarcado en un shelter ISO 20 y aprovechando los sistemas satelitales españoles XStar y Spainsat consigue mediante la banda X llevar a cabo las comunicaciones necesarias con el UAV Milano tanto para el control del mismo como para la explotación de sus capacidades.

[6]

Imagen 30. Funcionamiento comunicaciones satelitales. Fuente: INTA

La siguiente tabla ilustra las características técnicas del sistema MILANO.



Imagen 31.UAV MILANO Fuente: INTA

Alcance	B.L.O.S ( <i>below line of sight</i> )
Autonomía	>20 horas
Techo	> 20000 pies
Carga útil	150 Kg
Peso máximo	900 Kg
Velocidad máxima	230 Km/h

## ANEXO 2

**Subsistema de Antena**

Encargado de recibir la señal del satélite y a su vez de mandar la señal desde la estación al mismo.

En este subsistema reside la mayor innovación de la estación "SORIA" y lo que permite el concepto del SOTM. Dentro de este subsistema se encuentran a su vez varias divisiones, que se especifican a continuación

<p>Antena <i>Continuous Transversal Stubs</i> (CTS): destacando la tecnología basada en una matriz de stubs o radiadores y el bajo perfil de la misma, lo que contribuye a la aerodinámica y al enmascaramiento. Capaz de realizar rotación en 360° y elevación de 0 a 90 ° gracias a su sistema de giróscopos.</p>	 <p>Imagen 32 Antena CTS Fuente: Ibetor</p>
<p>MCU (Unidad de control de motores): responsable de los movimientos de la antena.</p>	 <p>Imagen 33 MCU Fuente: Ibetor</p>
<p>Radomo: Compuesto de fibra de vidrio permite proteger la antena y a su vez el paso de la señal de la misma</p>	 <p>Imagen 34 Radomo Fuente: Ibetor</p>
<p>Plataforma del sistema de antena: Caracterizada por permitir la ventilación artificial</p>	 <p>Imagen 35 Plataforma antena.Fuente:ibetor</p>

### Subsistema de control de antena.

El subsistema de control de antena se encarga de realizar la función principal del SOTM, esto es, seguir al satélite mientras el vehículo está en movimiento, consiguiendo incluso la readquisición tras perder el contacto con el satélite. A continuación, se ilustran los elementos que lo componen:

<p>ACU( Unidad de Control de Antena): integra el microcontrolador y el receptor de baliza/ portadora</p>	 <p>Imagen 36 ACU. Fuente :Ibetor</p>
<p>INS( Sistema de Navegación Inercial): Ayuda al proceso de seguimiento de la ACU, transmitiendo los movimientos del vehículo</p>	 <p>Imagen 37. INS. Fuente: Ibetor</p>

### Subsistema de Radio Frecuencia (RF).

Se encarga de recibir la señal de la antena y convertirla a banda base, es decir, la antena recibe la señal en banda X y mediante las diferentes guías de ondas se lleva esta señal a los diferentes bloques de este subsistema, destacando el BUC y el LNB, tras estos bloques la señal se encuentra en banda L o banda base, señal con la que puede trabajar el módem.

A continuación, se muestra un diagrama en que podemos ver los elementos que atraviesa la señal hasta encontrarse en banda base, sus diferentes guías de onda el bloque LNA o LNB y el BUC.

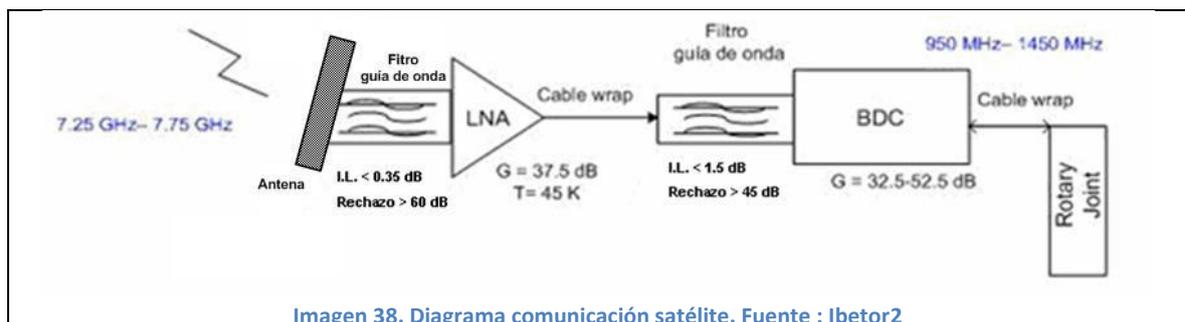


Imagen 38. Diagrama comunicación satélite. Fuente : Ibetor2



## Subsistema de Transmisión (TX).

Encargada de subir la señal de banda base a banda X. Subsistema que realiza el proceso contrario al anteriormente descrito. Se encarga de la transmisión de la señal generada por el subsistema de banda base (que se explicará posteriormente). Para ello transforma la señal mediante guía de ondas y diferentes elementos y obtiene en el punto final la señal en banda X, lista para ser transmitida por la antena.



Imágenes 43,44,45,46,47,48 y 49 . BUC, Sistema de RF, Guía de ondas y Derivador de dos vías respectivamente.

Fuente: Ibetor

## Subsistema de banda base

Dentro de este subsistema caben destacar los diferentes routers que lo integran, que son el router de acceso, cuya función es direccionar la información a la red de voz y a la red de datos, y dos routers, uno de voz y uno de datos, que se encargan del direccionamiento dentro de estas redes. Por otra parte, aparece también el Módem MR002, este será el primer elemento del subsistema de banda base y será uno de los elementos más importantes de todo el terminal.



Imagen 50. MódemMR002 Fuente:Ibetor 1

El módem MR0902, que aparece a la izquierda, se caracteriza por ser el primer elemento del subsistema de banda base. Este módem podrá ser de la plataforma Idirecto de la plataforma Paradise



Imágenes 51 y 52. Panel frontal del router y panel trasero del router. Fuente: Ibetor.

El módem MR002 permite trabajar tanto con los *routers*, gracias al puerto RJ45 que tienen en el panel trasero, como por radiofrecuencia con el módem MR001.

Adicionalmente a estos subsistemas, cabría destacar los subsistemas de alarmas, alimentación y control (CAC), consistente en un PC (cuya función principal es controlar el correcto funcionamiento del terminal), subsistema de ventilación y subsistema de alimentación, siendo este último de gran importancia para la estación SORIA ya que puede estar basado en alimentación externa o en el uso del grupo electrógeno interior.

## ANEXO 3

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas de los equipos presentes en la estación SORIA

Subsistema de antena	<p>Altura: 29 cm.          Diámetro: 95 cm.          Peso: máximo de 80 Kg.          Consumo: máximo de 600 W.</p> <p style="text-align: right;">} Antena CTS</p> <p>Dimensiones: 2 unidades de Rack (RU)          8,89 x 60 x 80 cm          Peso: 11,5 Kg</p> <p style="text-align: right;">} MCU</p> <p>Cuenta además integrado en la plataforma de la antena con el filtro de transmisión, el acoplador y el BUC, destacando las dimensiones del mismo de 23,4 x 17,1 x 8,7, el peso de 3,9 Kg y el consumo de 40 W.</p>
Subsistema de control de antena	ACU: Dimensiones 2 unidades de Rack (RU) 8,89 x 60 x 80 cm
Subsistema de banda base	Router de Voz y Router de acceso IP: Dimensiones 4,445 cm de altura Switch de Voz y switch de datos de misión: Dimensiones 4,445 cm de altura Módem Mr002 Dimensiones 4,445 cm de altura x 30 cm de ancho Módem Mr001 Dimensiones 4,445 cm de altura x 60 cm de ancho
Rendimiento	Se ha alcanzado un máximo de rendimiento de 8 Mbps

## ANEXO 4

La siguiente tabla muestra las características técnicas de los terminales IRIDIUM y BGAN, terminales satelitales civiles.

<p>Terminal IRIDIUM <a href="#">[7]</a></p>	<p><u>Dimensiones:</u> 14 cm (largo) x 6 cm (ancho) x 2,7 cm (fondo) <u>Capacidad:</u> 10 Kbps en datos <u>Autonomía en conversación:</u> Hasta 4 horas <u>Autonomía en espera:</u> Hasta 30 horas <u>Peso:</u> 247 gr Cobertura global</p>	 <p>Imagen 53. Terminal Iridium. Fuente: iridium 1</p>
<p>Terminal BGAN 727 <a href="#">[8]</a></p>	<p><u>Capacidad multiusuario</u> <u>Capacidad:</u> 256 kbps <u>Simplicidad:</u> tres piezas, antena, controlador <i>router</i> y terminal IP Consumo: 65 W <u>Dimensiones Router:</u> 4,25 x 24,6 x 27 cm 2,4 Kg <u>Dimensiones antena:</u> 47,65 cm de diámetro x 15 cm de altura 6 Kg <u>Facilidad de uso</u></p>	 <p>Imagen 54. Terminal BGAN 727 Fuente: IRIDIUM</p>

## ANEXO 5

Antena ANTARES Multi-Platform y sus especificaciones técnicas.

- Peso. 35 Kg incluyendo módem y subsistema de control de antena.
- Ancho de banda. Capaz de proporcionar un máximo de 10 Mbps.
- Posicionamiento en tres ejes eliminando problemas derivados del apuntamiento a más de 90°.
- Tamaño. Diámetro de la antena de 40 cm.

[\[9\]](#)



Imagen 55. Terminal ANTARES MultiPlatform. Fuente: Thales

## ANEXO 6

Terminal satelital Man-Pack y sus especificaciones técnicas.

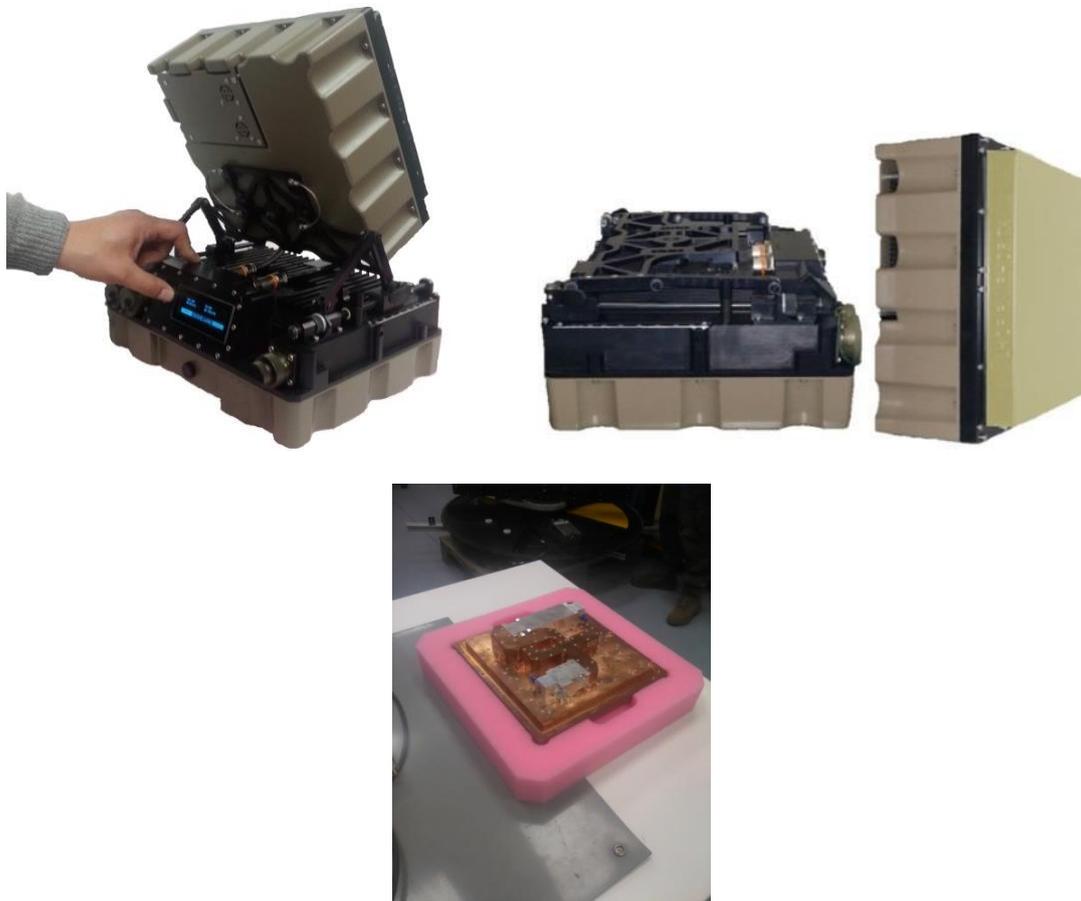


Imagen 56,57 y 58. Terminal y antena Man-Pack. Fuente: Ibetor.

- Peso total. Menos de 9,5 Kg; peso de la antena 4 Kg.
- Antena plana. Como se puede ver en la imagen 59, de muy pequeño tamaño y bajo perfil.
- Fácil de operar.
- Cuenta además con baterías que le otorgan una autonomía de dos horas a pleno rendimiento y cuatro a la escucha.
- Tasa de transmisión de 700 Kbps en las mejores condiciones Terminal ideado para ser portado por un solo hombre.

## ANEXO 7

## Módem Idirect y sus especificaciones técnicas.



Imagen 59. Módem Idirect del terminal TLB-IP: Fuente: Idirect

- Dimensiones. 44,45 cm de ancho; 33 cm de fondo y 4,4 cm de altura.
- Peso. 4,9 Kg.
- Capacidad de funcionamiento. Capaz de funcionar en un rango de temperaturas de -20° a 55° y a una altura de 10000 pies.
- Consumo. 4 Amperios/ hora.
- Este es el módem utilizado actualmente en el terminal TLB-IP.



Imagen 60. Módem Idirect 950 mp. Fuente: Idirect

- Dimensiones. 16,76 cm de ancho; 17,78 cm de fondo y 3,175 cm de altura.
- Peso. 0,65 Kg.
- Capacidad de funcionamiento. Capaz de funcionar en un rango de temperaturas de -40° a 60° y a una altura de 15000 pies.
- Consumo. Con un consumo máximo de menos de 20 W.
- Se utilizará este módem para la instalación del terminal SOTM en plataforma aérea.

[10]

## ANEXO 8



Imagen 61. Router Meraki. Fuente: CISCO

La gama de productos Meraki es la más segura de todas las líneas de productos de la compañía "CISCO".

Dentro de esta gama se elegirá el router "MX64" el cual nos permite llevar a cabo comunicaciones, con toda la seguridad que esta gama de productos nos otorga, a un máximo de 250 Mbps.

Por otra parte, estos routers nos permitirán crear redes de más de 50 usuarios, considerándose este el límite para el óptimo funcionamiento del sistema.

Nos encontraremos ante un router capaz de operar en un rango de temperaturas de 0 a 40 °C y a un máximo de 95 % de humedad, todo ello unido a su bajo consumo de 18 W hacen de este router el ideal para la creación de redes de voz y datos con la máxima seguridad posible.

Peso: 1,4 Kg

Dimensiones: 23,9 cm de largo x 13,2 cm de ancho x 2,5 cm de altura.

## ANEXO 9

La raspberry pi consiste en una placa base de muy reducidas dimensiones con enormes posibilidades de funcionalidad. Este mini “PC” encuentra atractivos en su consumo, que es ínfimo, su precio, menos de 50 euros y sus capacidades.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará la raspberry pi 3 suministrada por PcComponents [\[11\]](#)



Imagen 62. Raspberry Pi 3. Fuente: PcComponents

## ANEXO 10

## Teléfono IP CISCO 3911 y sus especificaciones técnicas



Imagen 63. Teléfono CISCO 3911. Fuente: CISCO

- Peso. 505 gramos.
- Dimensiones. 20cm de alto; 18 cm de ancho y 4,5 cm de fondo.
- Fabricado en plástico. Mayor ligereza.
- Capaz de trabajar en un rango de  $-5^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ .
- Soporta una humedad del 90%.
- Alimentación. Posibilidad de alimentar mediante el estándar Power on Ethernet (PoE, Siglas en Inglés).

## ANEXO 11

Tomas de corriente de los HELOS HT-21 de 28 V – 120 W



Imagen 64. Toma de alimentación HELO HT-21. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 65. Tomas de alimentación HELO HT-21. Fuente: Elaboración propia

Imagen 65. Toma de alimentación HELOHT-21. Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 12

## Colocación de los equipos interiores.

A continuación, se muestran los equipos presentes en el TLB-IP, a modo de ejemplificar los equipos necesarios en un terminal satélite.

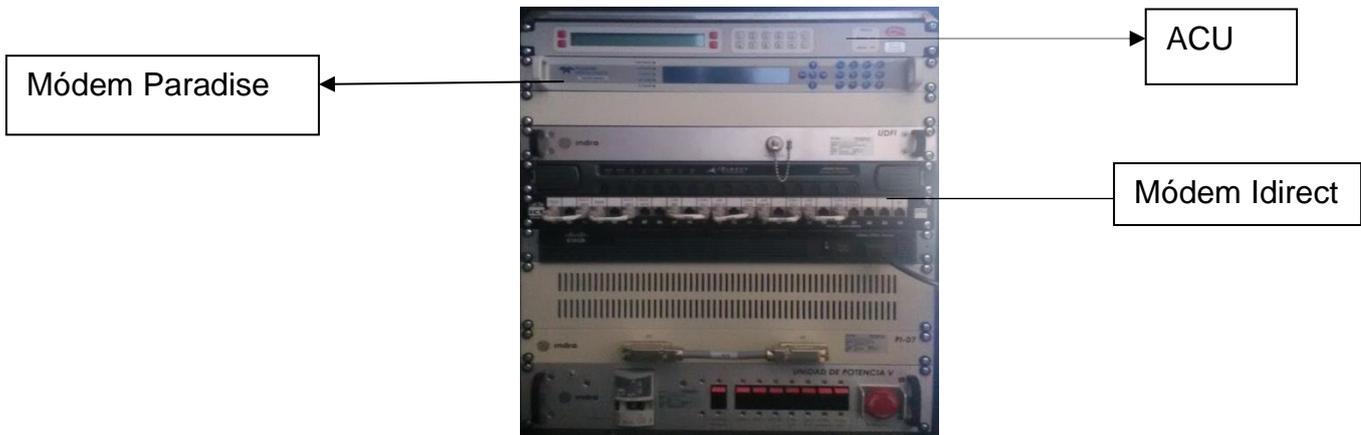


Imagen 66. Terminal TLB-IP. Fuente: Elaboración propia

En la imagen 61 podemos observar la unidad de control de antena y los dos módems posibles.

En las imágenes que siguen, se muestra el interior del HELO, a modo de ejemplificar la posición de los equipos en el HELO.



Imagen 67. HELO HT-21. Fuente: Elaboración propia

Imagen correspondiente al interior de un Cougar HT-21. Como se puede observar en los laterales del mismo encontramos racks disponibles para la colocación del subsistema de control de antena formado por una ACU y una MCU (unidad de control de motores de la antena), a la vez que un módem Idirect conectado a una raspberry pi.



Imagen 68. HELOHT- 21. Fuente: Elaboración propia

Imagen correspondiente al cofre portaradios de la estación COLMENAR.

Cofre de fibra, reducido peso y tamaño. Adaptable a las diferentes U. En esta imagen se puede observar un cofre con un rack que utiliza además adaptadores para ser capaz de sujetar la radio HARRIS.