

Trabajo Fin de Grado

Estudio de un sistema de microsatélites para disponer de una red de comunicaciones en Defensa

Autor

CAC. D. Francisco Cantizano Reina

Director/es

Director académico: Col Art^a (R) Antonio Martínez de Baños Carrillo

Director militar: Cap Art^a José Manuel Rodríguez Rodrigo

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]

Agradecimientos

La realización de este Trabajo Fin de Grado se ha llevado a cabo durante las prácticas externas en el Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA II/30) del Regimiento de Artillería Mixto nº 30, encuadrado en la Comandancia General de Ceuta.

En primer lugar, quisiera expresar mi especial gratitud a mi director académico el coronel D. Antonio Martínez de Baños Carrillo por su gran implicación y sus constantes consejos y orientaciones para la realización de este trabajo de la mejor manera posible.

Por otro lado, agradecer a mi director el capitán D. José Manuel Rodríguez Rodrigo, jefe de la Batería de Servicios del Grupo de Artillería Antiaérea II/30- su total implicación para afrontar este proyecto. A la vez, agradecerle también sus consejos en cuanto al trato con el personal, que es de gran importancia para el ejercicio del mando en las unidades.

Por último, agradecer a todo el personal del Grupo su trato y su entera disponibilidad para ayudar en lo posible, y en especial a la Batería Mistral en la cual he realizado estas prácticas externas y como no a mi familia, que ha sido la que me ha estado apoyando en los momentos de flaqueza para poder cumplir mi sueño de ser oficial del Ejército de Tierra.

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]

RESUMEN

La utilización de sistemas de microsátélites para disponer de redes de comunicaciones de última tecnología es una de las aplicaciones significativas que puede proporcionarnos ventajas competitivas para poder responder a ataques no convencionales programados a través de sistemas tecnológicos enemigos.

El motivo principal de este trabajo fin de grado es buscar una solución factible y posibilista a las debilidades que en la actualidad existen y que están relacionadas principalmente con la falta de enlace o cobertura. Por tal motivo, este trabajo está focalizado en la utilización de sistemas de microsátélites y su posible aplicación en el proyecto de Fuerza 2035.

Para poder llevar a cabo esta posible implementación en nuestras Fuerzas Armadas, se ha realizado un estudio sobre la situación actual de estos pequeños satélites. De tal modo, se detallan todas sus características funcionales y se realiza una comparativa con los satélites convencionales en cuanto al peso, tamaño y coste como referencia. A su vez, se hace mención de los proyectos actuales donde microsátélites españoles están alcanzando grandes logros, para hacer ver que, poco a poco, España está consiguiendo ese desarrollo tecnológico avanzado tan deseado.

Un factor fundamental para estudiar la viabilidad de esta posible implementación ha sido el análisis DAFO que se ha realizado junto a una entrevista a un grupo de analistas y el cuestionario anónimo al personal del Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA II/30). Un análisis económico da pautas sobre la gran diferencia que existe entre estos pequeños satélites y los satélites convencionales, por lo que la utilización de estos pequeños satélites supondría un ahorro económico y un avance tanto tecnológico como táctico y operacional considerables.

En definitiva, la creación de microsátélites para su uso en las Fuerzas Armadas supondría abrir una puerta al progreso científico-tecnológico de uso para la defensa, con una excelente ratio coste-eficacia, a la hora de desplegar nuestras unidades en territorio internacional. De esta manera, se produciría una situación de incertidumbre en nuestros adversarios, causada en gran medida por la utilización de estos innovadores sistemas de telecomunicación, de los que hoy en día pocos países son capaces de desarrollar e implementar.

PALABRAS CLAVE

Fuerzas Armadas, microsátélites, redes de comunicación, entorno operativo 2035, zonas de cobertura.

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]

ABSTRACT

The main reason of this final degree project is to find a solution to the weaknesses related to the lack of link or coverage of military networks. We have focused this study on the use of microsatellite systems and its possible application in the Force 2035 Project.

The use of microsatellite systems to have modern communications networks would provide us competitive advantages to be able to respond to non-conventional programmed attacks through enemy technological systems.

In order to make this possible implementation in our Armed Forces, a survey was carried out on the updated small satellites, finding all their functional characteristics and making a comparison with conventional satellites in terms of weight, size and cost. At the same time, it has been deemed appropriately to mention the current projects in which Spanish microsatellites are participating, to show that little by little Spain is achieving the desired technological development.

A fundamental factor to study the feasibility of this possible implementation has been a DAFO analysis that has been carried out with the interview to an analysts' group and the development of an anonymous questionnaire to the personnel of the Air Defense Artillery Battalion (GAAA II/30). An economic analysis has been able to show the big difference between these small satellites and the conventional satellites shows that the use of these small satellites would imply a technological, tactical and operational advance.

In short, the creation of microsatellites in the Armed Forces would open a door to scientific-technological progress when we deploy our units in international territory. In this way, an uncertainty situation would be produced in our adversaries, caused by these innovative telecommunication systems due to few countries are capable to develop a study with its consequent implementation today.

KEYWORDS

Armed Forces, microsatellites, communication networks, operating environment 2035, coverage areas

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]



ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	7
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE TABLAS.....	13
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Antecedentes.....	17
1.2. Objetivo y alcance.....	18
1.3. Metodología.....	19
1.4. Estado del Arte.....	20
2. SITUACIÓN ACTUAL.....	23
2.1. Generalidades de los satélites y pequeños satélites.....	23
2.2. Redes satelitales.....	26
2.2.1. Ancho de banda y velocidades.....	26
2.2.2. Elementos de las redes satelitales.....	26
2.3. Comunicaciones por satélites militares.....	27
2.4. Tipos de pequeños satélites empleados por el INTA.....	28
2.5. Proyectos actuales donde se han empleado microsátélites.....	31
2.5.1. UPMSat-2.....	31
2.5.2. FossaSat-1.....	32
2.6. Fuerza 2035.....	33
3. ANÁLISIS Y DESARROLLO.....	34
3.1. Resultados del análisis cualitativo.....	34
3.2. Resultados del análisis cuantitativo.....	37
3.3. Análisis DAFO.....	38
3.4. Análisis económico.....	41



4. LÍNEAS DE TRABAJOS FUTURAS.....	43
5. CONCLUSIONES.....	45
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47



INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Red satelital (fuente: geocities.ws, consultada el 10/12/2021).....	18
Ilustración 2. Comparativa entre satélites SPAINSAT y XTR-EUR (fuente: hisdesat.es, consultada el 13/09/2021)	20
Ilustración 3. Composición interna de un satélite (fuente: trabajocienciasdel.wixsite.com, consultada el 14/09/2021)	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 4. Comparativa entre LUME-1 e HISPASAT 36 W-1 (fuente: alen.space, consultada el 14/09/2021)	26
Ilustración 5. Estaciones terrenas (fuente: argentina.gob.ar, consultada el 15/09/2021)	27
Ilustración 6. Transpondedor (fuente: quora.com, consultada 15/09/2021)	27
Ilustración 7. Diagrama de funcionamiento de un sistema de comunicaciones satelitales (SATCOM) (fuente: researchgate.net, consultada el 20/09/2021)	28
Ilustración 8. INTASAT, primer microsátélite español. (fuente: fly-news.es, consultada el 24/09/2021)	29
Ilustración 9. MiniSat, primer satélite español con sello SENER. (fuente: pioneeringspace.sener, consultada el 24/09/2021)	30
Ilustración 10. NanoSat (fuente: portalcomunicacion.uah.es, consultada el 24/09/2021).....	31
Ilustración 11. UPMSat-2 (fuente: idr.upm.es, consultada el 25/09/2021).....	32
Ilustración 12. FossaSat-1 (fuente: laverdad.es, consultada el 25/09/2021)	33
Ilustración 13. Red CIS Brigada 2035 (fuente: Revista Fuerza 2035, consultada el 27/09/2021)	34



[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del UPMSat-2 (fuente: elaboración propia)	31
Tabla 2. Características del FossaSat-1 (fuente: elaboración propia).....	32
Tabla 3. Comparación de los actuales medios para la transmisión de datos en el ET (fuente: elaboración propia)	35
Tabla 4. Análisis DAFO (fuente: elaboración propia)	41
Tabla 5. Análisis económico (fuente: datos proporcionados en la entrevista personal por el ingeniero Julián Fernández, fundador del microsátélite FossaSat-1).....	42
Tabla 6. Zepelín usado por el ejército americano para crear redes de comunicaciones (fuente: educalingo.com, consultada el 6/10/2021)	56



[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CIS	Centro de Investigaciones sociológicas
CNR	Red Radio de Combate / <i>Combat Network Radio</i>
COAAAS-M	Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático - Medio
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DIRMIL	Director militar
DoD	Departamento de Defensa de EE. UU. / <i>Department of Defense (USA)</i>
EDA	Agencia Europea de la Defensa / <i>European Defense Agency</i>
EE. UU.	Estados Unidos
ET	Ejército de Tierra
EW	Guerra electrónica / <i>Electronic Warfare</i>
FAS	Fuerzas Armadas
GAAA II/30	Grupo de Artillería Antiaérea
GEO	Satélites de órbita geoestacionaria / <i>Geostationary Earth Orbit</i>
HEO	Satélites de órbita altamente elíptica / <i>High Elliptical Earth Orbit</i>
HF	Alta Frecuencia / <i>High Frequency</i>
IA	Inteligencia Artificial
IDR	Instituto Universitario de Microgravedad Ignacio Da Riva
I+D	Investigación y Desarrollo
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
ISR	Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento / <i>Intelligence, Surveillance and Reconnaissance</i>
JEME	Jefe del Estado Mayor del Ejército de Tierra
Kms	Kilómetro por segundo
LEO	Satélites de órbita baja / <i>Low Earth Orbit</i>
MEO	Satélites de órbita media / <i>Medium Earth Orbit</i>
NAVWAR	Guerra de navegación / <i>Naval Information Warfare</i>
NCIA	Agencia de Comunicaciones e Información de la OTAN / NATO <i>Communications and Information Agency</i>
PU,s	Pequeñas unidades
RAF	Real Fuerza Aérea británica / <i>Royal Air Force</i>
RAMIX 30	Regimiento de Artillería Mixto N.º 30
RPAS	Sistema de aeronaves pilotadas a distancia / <i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
SATCOM	Comunicaciones por satélite / <i>Satellite communications</i>



SSMS	Servicio de Misiones de Pequeñas Naves Espaciales / <i>Small Spaceship Mission Service</i>
TDL	Data Link Táctico / <i>Tactic Data Link</i>
UAV	Vehículos aéreos no tripulados / <i>Unmanned aerial vehicles</i>
UHF	Ultra Alta Frecuencia / <i>Ultra High Frequency</i>
VHF	Muy Alta Frecuencia / <i>Very High Frequency</i>
W	Watio
Wh	Watio por hora
ZO, s	Zona de operaciones



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Conforme los tiempos van avanzando y las nuevas tecnologías se van desarrollando, es necesario disponer de sistemas que mejoren las capacidades que nos proporcionan los sistemas de comunicación actuales. Es por tanto, una prioridad fundamental conseguir una mayor flexibilidad del uso de las mismas para que sean capaces de adaptarse a las nuevas misiones en zona de operaciones (ZO,s).

El origen de las redes de comunicación aplicadas para el ámbito militar surge en 1969 cuando la Agencia de Proyectos para la Investigación Avanzada de Defensa de Estados Unidos, DARPA, llevó a cabo una conexión de cuatro sistemas diferentes en una red a la cual la denominó ARPANET¹, con el principal objetivo de mantener las comunicaciones en caso de guerra. Como explica el autor: - "Con ARPANET llegaba una revolución en el campo de las comunicaciones porque era una red que permitía la entrada y salida de conexiones sin que el sistema se viera afectado, y que cualquier usuario pudiera comunicarse con otro desde cualquier parte de la red"- (Martínez, J.M., 2009).

Un concepto muy importante dentro de las redes de comunicaciones surgió durante la batalla de Reino Unido en la 2ª Guerra Mundial entre julio y noviembre de 1940, conocida por el conjunto de hostigamientos en el espacio aéreo sobre el canal de la Mancha, donde Alemania intentó destruir la Real Fuerza Aérea británica (RAF), para así lograr superioridad aérea y conseguir la invasión del país británico. Este concepto estratégico fue la base para la creación de las redes *Tactical Data Link* o Enlace de Datos Táctico (TDL) estandarizado por la OTAN para las operaciones en territorio británico. Estas redes son hoy en día un medio para difundir información procesada por radares y equipos electroópticos, clave para la toma de decisiones (Macchiavello, P., 2017).

Las comunicaciones militares y, a su vez, las redes de telecomunicaciones surgen con un fin principal, que el mando de una unidad pueda ejercer el control sobre todo su personal, sirviendo también de apoyo a inteligencia, operaciones y logística, conceptos claves a la hora de ejercer el mando.

En la actualidad, las redes de telecomunicaciones tácticas del ET se dividen en: una Red Táctica Principal y una Red Radio de Combate (CNR). La primera es el elemento más importante de la red de telecomunicaciones; está formada por un conjunto de nodos interconectados y situados sobre el terreno que proporciona cobertura a cada uno de los nodos del subsistema de acceso de los puesto de mandos en ZO,s permitiendo, a la vez, la conexión de todos los puntos de acceso de usuarios móviles (tanto movimientos vehiculares como de a pie). La segunda consiste en una red independiente con la función de complementar a la Red Táctica Principal facilitando el enlace a aquellos usuarios que no pueden o no se considera necesario su integración en la misma red. En ciertos escalones, como pueden ser una Brigada o Pequeñas Unidades (PU,s), la CNR proporciona un procedimiento fundamental para llevar a cabo la función de mando y control a través de una estructura jerárquica. Aquellos usuarios de la CNR que se determine tendrán la capacidad de acceder a la Red Táctica Principal mediante un subsistema de interfaces.

Estas dos redes de telecomunicaciones dependen de la cobertura que proporcionan las redes satelitales que están formadas por un transpondedor (dispositivo receptor-

¹ Advance research projects agency network



emisor), una estación en tierra y una red de usuario de las estaciones terrestres, que garantizan la transmisión y recepción de información a través del sistema de satélite.

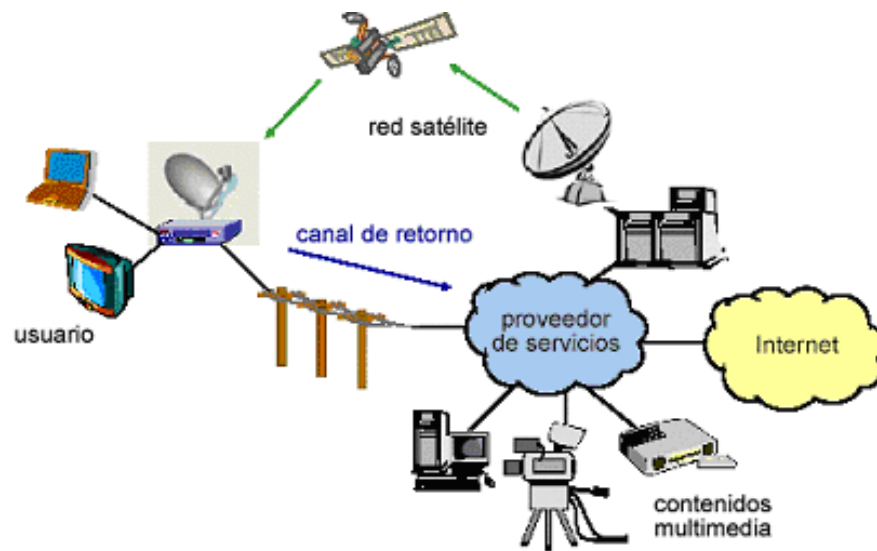


Ilustración 1. Red satelital (fuente: geocities.ws, consultada el 10/12/2021)

Una vez introducidos los temas a tratar planteamos la necesidad de crear un sistema de microsátélites, que tiene la misma función que una red satelital, pero a menor escala. Antes de adentrarnos en profundidad vamos a considerar unos conceptos que no podemos obviar para determinar si nos pueden proporcionar una cantidad de ventajas superiores que las que nos proporcionan los medios usados actualmente, como son la anchura de banda de las señales que transmiten mediante las vías de transmisión o la velocidad de transmisión teniendo en cuenta las bandas de frecuencias que se usan: *High Frequency* (HF) y *Very High Frequency* (VHF).

1.2. Objetivo y alcance

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Grado es el estudio de una red de microsátélites para disponer de una red de comunicaciones en el ámbito de las Fuerzas Armadas (FAS). Queremos llevar a cabo este proyecto para crear una red de comunicaciones mediante microsátélites, donde las comunicaciones normalmente no nos ofrecen toda la cobertura necesaria. Estos pequeños satélites cubrirían una zona de unos 80 a 90 kilómetros cuadrados y podrían permitir un gran avance de las comunicaciones proporcionando grandes ventajas para nuestras tropas una vez estén desplegadas en ZO, s.

Con el objetivo de determinar las capacidades que proporcionarían la implantación de una red de microsátélites, vamos a realizar un estudio enfocado en los siguientes aspectos:

- Ventajas y vulnerabilidades que proporcionan las redes satelitales.



- Comparación con sistemas de comunicaciones de los Estados Unidos (EE. UU).
- Explicación de los diferentes tipos de pequeños satélites que existen y cuáles serían los más apropiados para que nos proporcionasen mayores capacidades.
- Posible aplicación en el proyecto de “Fuerza 2035”.
- Impacto que podría generar la posible implementación de esta red de microsatélites para España, así como a todas las organizaciones internacionales de las que forma parte.

1.3. Metodología

La metodología que se ha empleado ha sido en gran parte, cualitativa; siendo de vital importancia la búsqueda bibliográfica acompañada de las conclusiones del asesoramiento del grupo de analistas pertenecientes al Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA II/30), perteneciente al Regimiento de Artillería Mixto N.º 30 (RAMIX 30), encuadrado en la Comandancia General de Ceuta.

Gran cantidad de la información se ha obtenido de publicaciones militares referentes al “Proyecto 2035” como la revista “Fuerza 2035” o “Revista de Marina nº 960”. A su vez, se ha podido obtener valiosa información de los manuales de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) haciendo principal referencia al Plan Director de Sistemas Espaciales. Otra fuente fundamental que ha hecho posible la consecución de este trabajo ha sido el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), y más específicamente, el Departamento de Programas Espaciales y Ciencias del Espacio.

Por otro lado, se ha llevado a cabo una entrevista a un grupo de analistas con experiencia en el uso de las transmisiones en ZO,s donde existen situaciones en las que la vida de nuestro personal puede depender de que exista enlace vía radio o no. La entrevista se ha desarrollado presencialmente y siguiendo una serie de preguntas de elaboración propia (ver Anexo II) dejando una última pregunta para que el entrevistado aportará de manera voluntaria alguna opinión para enriquecer la calidad del trabajo.

Para conocer la opinión que tiene el personal sobre las telecomunicaciones en campo de batalla y las ventajas que podrían proporcionar a nuestras tropas, se ha llevado a cabo un cuestionario anónimo² (ver Anexo III) a todo el personal del Grupo de Artillería Antiaérea que está compuesto por una Batería de Mistral, una Batería de Cañón 35/90, y las Baterías de Plana y de Servicios. Una vez realizada la primera encuesta y viendo su resultado, pudimos sacar varias conclusiones siendo la principal la falta de conocimiento que había sobre el tema de microsatélites. Por tanto, decidimos llevar a cabo una serie de conferencias en las cuatro Baterías para concienciar al personal sobre la gran importancia que tienen cada vez más las transmisiones. Posteriormente, realizamos una segunda encuesta y se recogió la información plasmándose en un gráfico las respuestas a cada pregunta, siendo el valor de cada respuesta de 0 (en total desacuerdo) a 6 (en total de acuerdo) (ver ANEXO III).

² Este cuestionario anónimo se ha realizado siguiendo el modelo que realizó el teniente D. Carlos Hernández Martín de la LXXVI promoción de Artillería en su Trabajo Fin de Grado.



Finalmente, creímos oportuno realizar un análisis DAFO, donde se recogen las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que nos pueden proporcionar los microsatélites, ya que se visualizan de una forma muy clara y esquemática. A su vez, a lo largo del trabajo de investigación se ha desarrollado la parte económica, factor fundamental para determinar si un proyecto tiene viabilidad o no.

Todas las herramientas que se han usado para llevar a cabo este trabajo se han aprendido durante nuestros años de formación en el Centro Universitario de Zaragoza y la Academia General Militar de Zaragoza siendo de gran utilidad por la gran cantidad de facilidades que nos proporciona a la hora de tomar decisiones, factor clave que todo oficial del Ejército de Tierra (ET) debe tener para alcanzar los objetivos que se establezcan.

1.4. Estado del Arte

A la hora de realizar el trabajo, un documento que se ha considerado esencial ha sido el *Plan Director de Sistemas Espaciales* perteneciente a la Dirección General de Armamento y Material, en donde nos explican la cobertura que tiene actualmente las comunicaciones militares, siendo el SPAINSAT, el satélite principal y el XTR-EUR, el satélite secundario. Estos satélites entraron en servicio en los años 2005 y 2006, teniendo una vida útil hasta el año 2021. Al tener estos satélites una vida útil, de entorno a unos 15 años, y el elevado coste que supone la puesta en marcha de proyectos de satélites convencionales, resulta muy interesante la creación de estos pequeños satélites debido principalmente a su bajo coste y al poco tiempo que se necesita para su correspondiente puesta en marcha, con el objetivo de conseguir una zona de enlace y cobertura duradera en el tiempo.

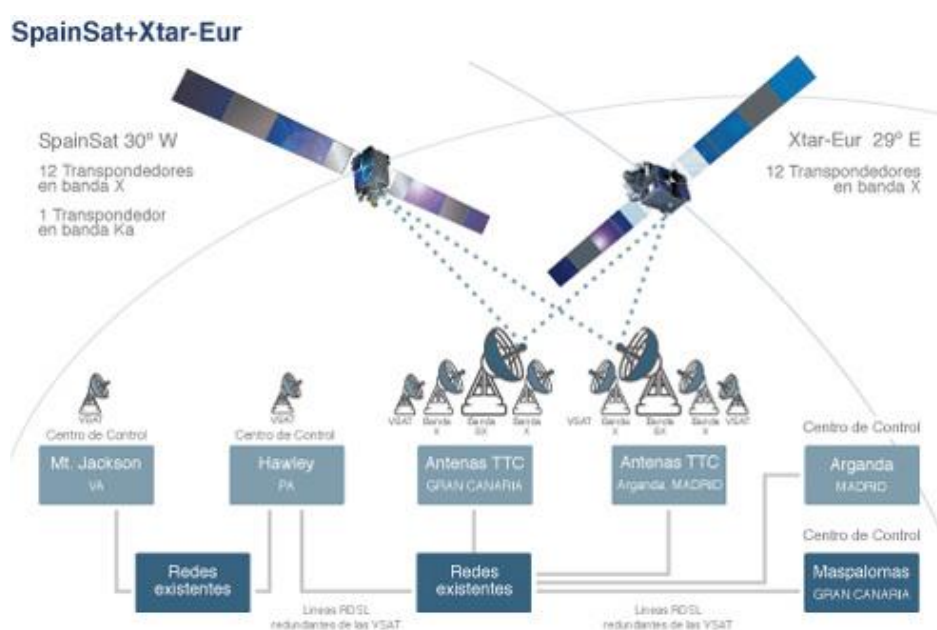


Ilustración 2. Comparativa entre satélites SPAINSAT y XTR-EUR (fuente: hisdesat.es, consultada el 13/09/2021)



A su vez, un documento de gran importancia de donde se ha podido obtener información sobre las tendencias de los Sistemas de Información y Telecomunicaciones (CIS) en el entorno internacional es *Tendencias 2018-2019. Volumen II. Transmisiones* de la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales perteneciente al Mando de Adiestramiento y Doctrina.

Por otro lado, también destaca el documento *Fuerza 35* donde nos proporciona información sobre las posibilidades futuras que nos otorga la tecnología y donde afirma el General de Ejército Don Francisco Javier Salas que el centro de gravedad de la Fuerza 35 seguirá siendo el combatiente buscando un equilibrio entre el factor humano y las posibilidades que nos otorga la tecnología. Este documento nos informa sobre la evolución de las capacidades de mando haciendo referencia a los CIS o a los medios de guerra electrónica (EW), en donde los sistemas de microsátélites podrían jugar un papel esencial.

A pesar de los pesares, no ha sido sencillo encontrar información sobre sistemas de microsátélites para disponer de una red de comunicaciones ya que estos pequeños satélites aún no se han implementado en Defensa ni existen proyectos a corto o medio plazo para implementarlos; aun así, existen diferentes reflexiones y opiniones que han servido para fundamentar este trabajo y hacer ver la necesidad de implementar este sistema de pequeños satélites para mejorar los medios de comunicaciones con los que disponemos actualmente.



[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]



2. SITUACIÓN ACTUAL

El siguiente apartado tiene como objetivo explicar cómo se desarrollan las comunicaciones por satélite militares y la gran importancia que le da la potencia internacional de EE. UU; a su vez se llevará a cabo un estudio sobre las generalidades y cómo se clasifican los pequeños satélites (minisatélites, microsátélites, nanosatélites y picosatélites). Por otro lado, se expondrán los pequeños satélites por los que apostó España, en particular el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

2.1. Generalidades de los satélites y pequeños satélites

Satélites

Los satélites son dispositivos que actúan como “reflector” de las emisiones procedentes de tierra y reflejan un haz de microondas con información codificada. La función de reflexión está formada por un receptor y un emisor que operan a distintas frecuencias 6 Ghz, y envía a 4 Ghz, respectivamente. Estos sistemas están constantemente girando alrededor de la Tierra de forma sincronizada alcanzando una altura de 35,680 km, distancia requerida para que el satélite gire en 24 horas. Otra característica importante que debemos tener en cuenta es que la distancia entre dos satélites de comunicaciones es de 2,880 kilómetros por segundo (kms), por lo que el número de satélites que se pueden conectar es infinito. En cuanto a los rangos de masa, no son rígidos, ya que se pueden encontrar microsátélites de hasta 150 kilogramos o nanosatélites de hasta 20 kilogramos. Por otro lado, existen diferentes tipos de satélites dependiendo de la altura de la órbita en la que estén girando, que son los siguientes: satélites de órbita baja (LEO), satélites de órbita media (MEO), satélites de órbita geoestacionaria (GEO) y satélites de órbita altamente elíptica (HEO). (Coronado Alejos, A.J. 2017)

- **Satélite de órbita baja (LEO):**
 - Órbitas elípticas (400 - 2500km)
 - Tarda 90 minutos en dar la vuelta a la Tierra
 - Hay un elevado número de satélites: entre 50 y 100
 - Posee bajas potencias de transmisión (menos consumo y estaciones terrestres de menor costo)
 - Antenas omnidireccionales
 - Puesta en órbita de bajo costo
 - Bajo retardo en la señal (aproximadamente 10 milisegundos)

- **Satélite de órbita media (MEO):**
 - Órbitas elípticas (4000 – 15000 km)
 - Tarda entre 6 y 8 horas en dar la vuelta a la Tierra
 - Número de satélites: 10 (en dos planos de 45º)



CAC. Francisco Cantizano Reina

- Potencias medias de transmisión (mayor consumo que LEO)
 - Antenas omnidireccionales
 - Puesta en órbita de mayor coste que LEO
 - Retardo en la señal de 70 milisegundos
-
- **Satélites de órbita geoestacionaria (GEO):**
 - Órbitas elípticas (3000 – 27000 km)
 - Misma velocidad angular que el globo terrestre, por lo que, sobre un determinado punto, permanecen inmóviles sobre la Tierra
 - Un único satélite geoestacionario tiene la capacidad de generar comunicaciones a un 40% de la superficie terrestre
 - Su velocidad orbital es de unos 10900 kilómetros por hora
-
- **Satélite de órbita altamente elíptica (HEO):**
 - Órbitas elípticas (1000 – 36500 km)
 - Tarda 12 horas en dar la vuelta a la Tierra
 - Número de satélites: 3 (servicio continuo)
 - Retardo variable

Pequeños satélites

En cuanto a las características generales de los pequeños satélites podemos determinar que su composición interna es igual que la de los satélites espaciales, pero evidentemente a menor escala. La principal diferencia con la que cuentan estos pequeños satélites es que pueden ser codificados mediante la tecnología *Blockchain* o cadena de bloques que les hacen ser indescifrables (esta tecnología será explicada con posterioridad). Cuentan con subsistemas integrados que les permiten llevar a cabo todas sus funciones (resaltar que cada uno de ellos es transcendental y su mal funcionamiento podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto). La energía eléctrica es un factor fundamental que necesitan los satélites para corregir su posición y movimiento, disipar el calor y ser capaz de regular la temperatura, mantenerse en equilibrio, y lo fundamental, poder comunicarse con la Tierra (Ptolomeo UNAM, 2016).

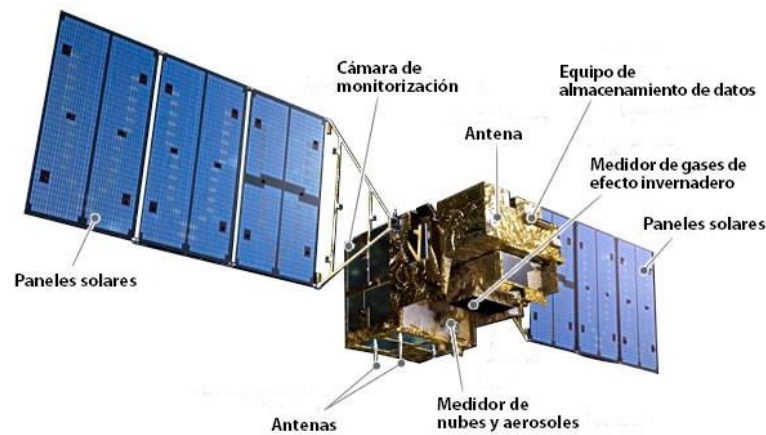


Ilustración 3. Composición interna de un satélite (fuente: trabajocienciasdel.wixsite.com, consultada el 14/09/2021)

La estructura de los satélites en general está compuesta por dos conjuntos: la carga útil o de comunicaciones, formada a su vez por el subsistema de antenas y el subsistema de comunicaciones que representan aquellas partes del satélite que pueden ser modificadas dependiendo del propósito que se quiera alcanzar (la potencia, el ancho de banda o el tipo de comunicación que son controlados por estos sistemas dependiendo del usuario y no del satélite); y por otro lado, la plataforma que es el conjunto de subsistemas que forman las características básicas proporcionadas por el fabricante. La plataforma a su vez está formada por los subsistemas de control térmico, energía eléctrica, propulsión, posición y orientación, una red estructural y el subsistema de rastreo, telemetría y comando. (Ptolomeo UNAM, 2016).

Los microsátélites y nanosatélites son satélites artificiales que hoy en día están en auge en las redes de comunicaciones, principalmente porque tiene tiempos de desarrollo más cortos que los satélites convencionales, un menor tamaño y sus precios son más económicos.

Dependiendo de la masa y el peso, existen diferentes tipos de satélites que son:

- Satélites grandes: más de 1000 kilogramos.
- Satélites medianos: entre 500 y 1000 kilogramos.
- Satélites pequeños:
 - Minisatélites: entre 100 y 500 kilogramos.
 - Microsatélites: entre 10 y 100 kilogramos.
 - Nanosatélites: entre 1 y 10 kilogramos.
 - Picosatélites: menos de 1 kilogramo.
 -

Para ilustrar lo anterior podemos ver la diferencia entre un satélite convencional (HISPASAT 36 W-1) y un nanosatélite de origen ruso (LUME-1). En el siguiente gráfico comparativo se muestra el peso de cada uno, sus respectivos costes y el tamaño. Por un lado, tenemos el peso del satélite convencional de 3,2 toneladas y un precio de 240 mil euros; y, por otro lado, el nanosatélite LUME-1 con un peso de 2,5 kilogramos y un coste de unos 500 euros.



CAC. Francisco Cantizano Reina

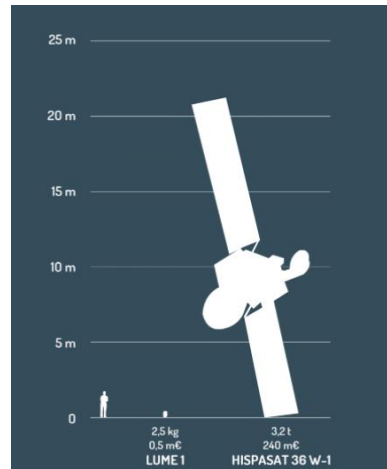


Ilustración 4. Comparativa entre LUME-1 e HISPASAT 36 W-1 (fuente: alen.space, consultada el 14/09/2021)

2.2. Redes satelitales

Son redes que usan como medios de transmisión satélites artificiales ubicados en órbita alrededor de la Tierra, donde los enrutadores tienen una antena por medio de la cual pueden enviar y recibir señales. Todos los enrutadores son capaces de detectar las salidas enviadas desde satélite y a su vez, en algunos casos, pueden detectar la transmisión ascendente de los otros enrutadores hacia el satélite (Coronado Alejos, A.J., 2017).

Un satélite artificial tiene la capacidad de, una vez que recibe una señal, ampliarla para que cuando se transmita de nuevo, ésta pueda ser más clara y precisa. El satélite está formado por varios transpondedores, cada uno de ellos puede captar alguna porción del espectro luminoso, amplificando la señal de entrada y posteriormente la transmite a otra frecuencia para evitar la interferencia con la señal de entrada (Coronado Alejos, A.J., 2017).

2.2.1. Ancho de banda y velocidades

El primer ancho de banda destinado al tráfico comercial por satélite fue la *banda C*; donde se asignan dos intervalos de frecuencia, el más bajo para tráfico de enlaces descendentes (desde el satélite) y el superior para el tráfico de enlaces ascendentes (hacia el satélite). A su vez también existen otras bandas disponibles para las portadoras como son la *banda Ku* y la *banda Ka* (Coronado Alejos, A.J., 2017).

2.2.2. Elementos de las redes satelitales

Las redes satelitales están formadas por los transpondedores y las estaciones terrenas. Los transpondedores son dispositivos que realizan la función de transmisión y recepción mientras que las estaciones terrenas ejercen el control sobre la recepción con el satélite y desde el satélite, codifica los datos, controla la interconexión entre terminales y regula la velocidad de transferencia (Coronado Alejos, A.J., 2017).



Ilustración 6. Transpondedor (fuente: quora.com, consultada 15/09/2021)



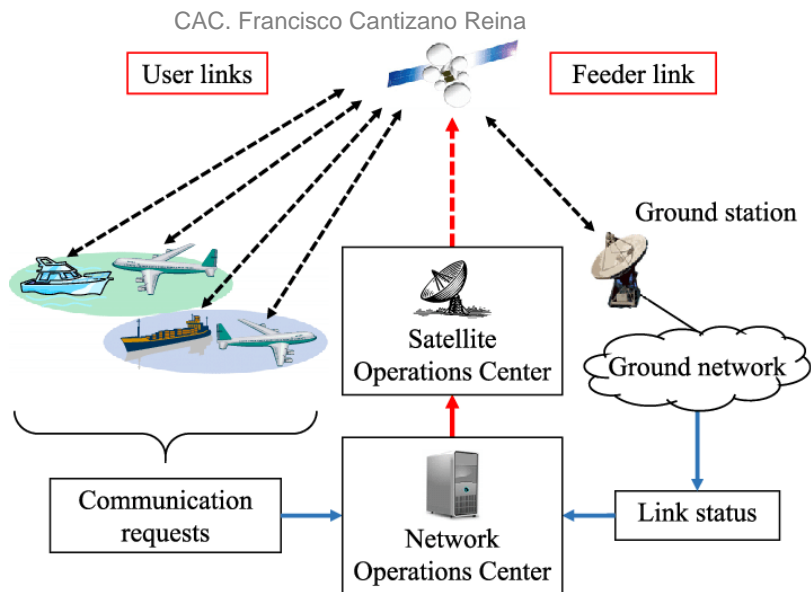
Ilustración 5. Estaciones terrenas (fuente: argentina.gob.ar, consultada el 15/09/2021)

2.3. Comunicaciones por satélites militares

Las comunicaciones es un pilar fundamental de las operaciones que se realizan tanto en territorio nacional como en territorio internacional y son clave a la hora de alcanzar el éxito de la misión. Las comunicaciones militares cada vez son más complejas y aglutinan una serie de elementos que pueden interferir en el buen desarrollo de las mismas como veremos a continuación.

Los nuevos avances tecnológicos como pueden ser los vehículos aéreos no tripulados (UAV) y medios de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (ISR) hacen que la dependencia de las comunicaciones en una red esté aumentando. La necesidad de disponer de mejores capacidades en red hace que también aumente la dependencia de las comunicaciones por satélite (SATCOM). Para ilustrar este planteamiento, podríamos decir que los UAV,s, que son capaces de almacenar grandes cantidades de datos en tiempo real generando un aumento del consumo de ancho de banda en los satélites militares, pueden provocar el colapso de las comunicaciones (System & Software Engineering. Defensa, 2014).

Un claro ejemplo de la importancia que tienen las comunicaciones lo podemos ver en el caso de Estados Unidos, cuyas tropas se encuentran desplegadas en todo el mundo y en la mayor parte de los casos en zonas donde las comunicaciones convencionales brillan por su ausencia. En términos presupuestarios, EEUU representa el 40% de la inversión total mundial en equipos militares SATCOM, estimando en 2010 que el Departamento de Defensa de EEUU (DoD) empleó 640 millones de dólares de un total de 1,6 mil millones para SATCOM. (System & Software Engineering. Defensa, 2014)



*Ilustración 7. Diagrama de funcionamiento de un sistema de comunicaciones satelitales (SATCOM)
(fuente: researchgate.net, consultada el 20/09/2021)*

2.4. Tipos de pequeños satélites empleados por el INTA

Vamos a mostrar los diferentes proyectos que llevó a cabo el INTA desde su creación para hacer ver que el estudio de este tipo de pequeños satélites no es un tema que se desarrolle únicamente en la actualidad, sino que anteriormente ya se explotaba el éxito de estos sistemas sabiendo la gran cantidad de ventajas que nos podría proporcionar.

- Microsatélite INTASAT:
 - Fue el primer satélite español que se desarrolló con el objetivo de capacitar al INTA y a las empresas españolas en el ámbito de las tecnologías espaciales (Torres, J., 2006).
 - El proyecto INTASAT fue lanzado el 15 de noviembre de ese mismo año con la finalidad de ser una carga adicional en el cohete Delta americano, lo cual acabó funcionando satisfactoriamente, aumentando la carga del cohete durante los dos años de vida útil programada. Esta carga útil tenía el objetivo de medir la concentración de electrones en la ionosfera. El proyecto tuvo una duración de 5 años, desde 1969 a 1974 (Torres, J., 2006).
 - Fue un éxito tecnológicamente hablando, pero, aunque no tuvo continuidad por falta de presupuesto, facilitó la participación de España en proyectos de la Agencia Espacial Europea.



Ilustración 8. INTASAT, primer microsatélite español. (fuente: fly-news.es, consultada el 24/09/2021)

- Minisatélite MINISAT:
 - Fue el primer proyecto con sello de SENER, empresa líder mundial en el desarrollo de proyectos donde se requería una alta carga tecnológica. En este proyecto participaron alrededor de 100 personas de diferentes empresas, elevándose el coste del proyecto a unos 27 millones de euros, siendo un satélite que pesaba unos 200 kilogramos y tenía una altura de 1,5 metros.
 - Tenía el objetivo de potenciar las capacidades nacionales para el diseño, calificación, integración y operación de sistemas espaciales. Una de las primeras misiones donde se usó fue con el objetivo de proporcionar una oportunidad de vuelo a instrumentos científicos (Torres, J., 2006).
 - Tal y como refleja el director del Departamento de Ciencias del Espacio y Programas Espaciales, José Torres Riera, en su estudio sobre microsatélites: “el diseño modular de MINISAT permitió la integración independiente del módulo de servicio con sus subsistemas y de la carga útil con los instrumentos para acoplarlos posteriormente”, lo que supone una gran ventaja para aumentar la vida útil de estos pequeños satélites.
 - Fue puesto en órbita en 1997 usando un lanzador Pegasus a unos 556 kilómetros de altura y una inclinación de 150°, teniendo una vida útil de 5 años hasta su reentrada en la atmósfera (Torres, J., 2006).



Ilustración 9. MiniSat, primer satélite español con sello SENER. (fuente: pioneering.space.sener, consultada el 24/09/2021)

- Nanosatélite NANOSAT:
 - El primer Nanosatélite español se lanzó al espacio por el INTA en 2004 siendo un 'pasajero auxiliar' en el lanzador Ariane 5 que transportaba el satélite HELIOS de observación para Defensa (Torres, J., 2006)
 - Durante los últimos años, INTA ha sido la principal protagonista a la hora de liderar el proyecto del Nanosatélite español como motor de nuevas actividades de Investigación y Desarrollo (I+D), en el campo de las nanotecnologías en colaboración con otras instituciones nacionales como pueden ser el Centro Nacional de Microelectrónica o la Universidad Politécnica de Madrid (Torres, J., 2006).
 - El estudio sobre este proyecto ha sacado a relucir conceptos interesantes que pueden beneficiar a los proyectos espaciales y que en un futuro no muy lejano permita la fabricación de Nanosatélites a un menor coste, tal y como refleja José Torres Riera en su estudio: "mediante la utilización de electrónica de bajo consumo en integración de alta intensidad, apropiada para la fabricación automática en serie" (Torres, J., 2006).
 - Existen diferentes aplicaciones donde se les ha podido sacar un gran rendimiento a este tipo de pequeños satélites, como pueden ser, la implementación de estos nanosatélites en producción con el objetivo de aumentar la fiabilidad y extender la vida útil del mismo; otro ejemplo de aplicación, es la creación de constelaciones de nanosatélites que posibilitarán la adquisición de datos a un bajo coste para extender así las posibilidades de acceso al espacio en los países en vías de desarrollo (Torres, J., 2006).



Ilustración 10. NanoSat (fuente: portalcomunicacion.uah.es, consultada el 24/09/2021)

2.5. Proyectos actuales donde se han empleado microsátélites

En el siguiente apartado trataremos de exponer los proyectos más actuales donde el uso de microsátélites desarrollados en España ha sido esencial para poder obtener ventajas competitivas de estos proyectos.

2.5.1. UPMSat-2

La misión Vega VV16 tuvo lugar el 2 de septiembre de 2020 y consistía en el lanzamiento de un cohete Vega con 53 microsátélites, donde se encontraba el español UPMSat-2, desarrollado por el Instituto Universitario de Microgravedad Ignacio Da Riva (IDR) de la Universidad Politécnica de Madrid.

Esta misión consistía en un vuelo de 'prueba de concepto' para demostrar la viabilidad técnica del Servicio de Misiones de Pequeñas Naves Espaciales (SSMS) que permite la puesta en órbita y el viaje de muchos pequeños satélites a la vez. (Agencia EFE, 2020). A continuación, en el siguiente cuadro se recogen las principales características de este microsátélite.

Peso	50 kilogramos
Dimensiones	Paralelepípedo de 0,5 metros x 0,5 metros de base y 0,6 metros de altura
Prestaciones que ofrece a cargas útiles	Volumen disponible de aproximadamente 0,40 metros x 0,40 metros x 0,25 metros, hasta 15 kilogramos y una potencia de 15 Watios (W)
Vida útil estimada	2 años

Tabla 1. Características del UPMSat-2 (fuente: elaboración propia)

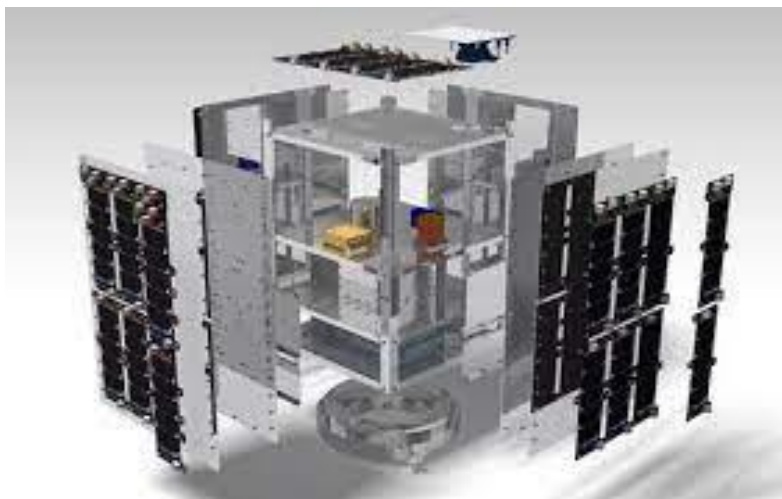


Ilustración 11. UPMSat-2 (fuente: idr.upm.es, consultada el 25/09/2021)

2.5.2. FossaSat-1

Este proyecto fue desarrollado por un joven español llamado Julián Fernández oriundo de La Línea de la Concepción (Cádiz), estudiante de Bachillerato que con 16 años ha desarrollado el satélite más pequeño que existe en España y el tercero del mundo. El objetivo principal del proyecto es crear una red de telecomunicaciones global, completamente abierta y gratuita. (Susana Zamora, 2019).

Julián Fernández nos explica que: “Servirá para la monitorización de cualquier tipo de sensor, ya sea para enviar mensajes de socorro en casos de emergencia o, si está instalado en mitad del campo, para detectar si falta humedad y activar el riego automático”.

Por otro lado, este es el primer pequeño satélite que va a necesitar una modulación nueva de radiofrecuencia, donde la velocidad de transmisión de datos es más pequeña pero el alcance será mayor, para así conseguir una red que cualquier persona podría usar sin ningún coste.

Una de las principales ventajas con las que cuenta es su gran simplicidad del diseño y su coste (ver Tabla 2). Su lanzamiento lo llevará a cabo la empresa *Rocket Lab*³, que pondrá en órbita el FossaSat-1 y otro conjunto de pequeños satélites privados (Zamora, S., 2019).

Peso	250 gramos
Dimensiones	Forma de cubo con 5 centímetros de lado
Coste	1.000 euros la fabricación y entre 20.000 euros y 30.000 euros su lanzamiento desde Nueva Zelanda

Tabla 2. Características del FossaSat-1 (fuente: elaboración propia)

³ Empresa de sistemas espaciales y líder mundial en el lanzamiento de pequeños satélites.



Ilustración 12. FossaSat-1 (fuente: laverdad.es, consultada el 25/09/2021)

2.6. Fuerza 2035

Un documento que ha sido de gran utilidad para la elaboración de este proyecto ha sido la revista Fuerza 2035 donde se exponen las modificaciones que se quieren llevar a cabo en el ámbito de las Fuerzas Armadas y donde hemos podido encontrar una modificación que afecta de lleno al tema sobre el que estamos trabajando. Consiste en conseguir una red de Mando y Control fiable y unificada que mejorará la conectividad en escenarios complejos. La red que se quiere crear estará desconectada de Internet y tendrá una gran capacidad de agilizar procesos en los que se trabaje con mucha información. Por todo esto, la utilización de estos pequeños satélites podría ser muy valiosa para desarrollar esta red de comunicaciones. (Ejército de Tierra. Fuerza 35. Página 35, 2019).

Dentro de los Sistemas de Información y Telecomunicaciones las modificaciones van encaminada, entre los años 2018 al 2024, a la creación de sistemas autónomos de reencaminamiento de tráfico por redes múltiples. Más adelante entre 2024 y 2030 las modificaciones estarán enfocadas a la creación de un sistema de reconfiguración de redes en ambientes saturados. Por otro lado, dentro del ámbito de Guerra Electrónica (EW), las modificaciones entre 2018 y 2024, van enfocadas a la creación de sistemas inteligentes de protección electromagnética frente a contramedidas y a la creación de un sistema de defensa contra guerra de navegación (NAVWAR). Está planeado, entre 2024 y 2030, la creación de sistemas autónomos EW contra RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) y sistemas autónomos de *jamming* basados en algoritmos de Inteligencia Artificial (IA); y, por último, entre los años 2030 y 2035 los cambios irán encaminados a la creación de sistemas de enmascaramiento de tráfico por redes civiles junto al desarrollo de sistemas de IA que permitan el análisis en tiempo real del estado del campo de batalla asignando objetivos y acciones de EW (Ejército de Tierra. Fuerza 35. Página 33, 2019).

Es por todo esto por lo que el desarrollo de microsátélites podría proporcionarnos gran cantidad de ventajas que servirían para desarrollar este tipo de modificaciones sobre



todo para aquellas que están encaminadas al desarrollo de redes o a la mejora de comunicaciones.

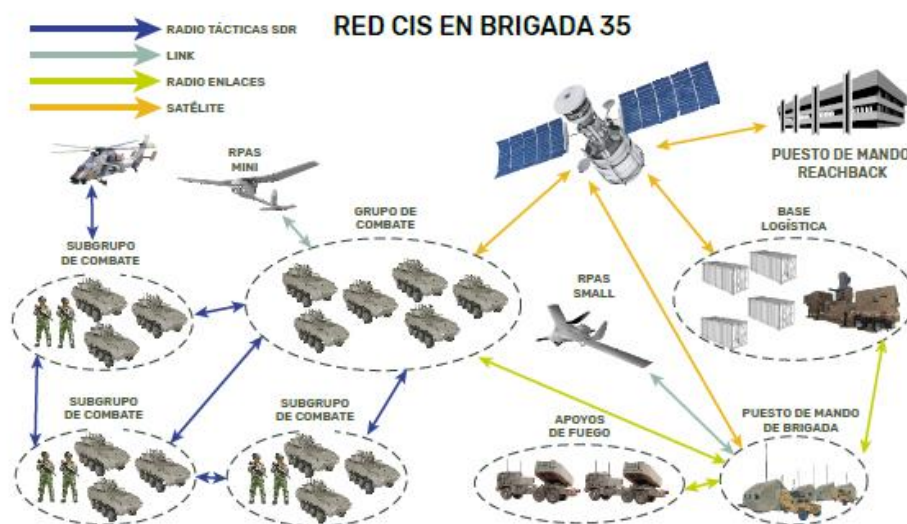


Ilustración 13. Red CIS Brigada 2035 (fuente: Revista Fuerza 2035, consultada el 27/09/2021)

3. ANÁLISIS Y DESARROLLO

En este apartado se expondrán los resultados obtenidos del cuestionario que se ha pasado al personal del Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA II/30), perteneciente al Regimiento de Artillería Mixto N.º 30 (RAMIX 30), encuadrado en la Comandancia General de Ceuta. A su vez, se expondrán las opiniones de un grupo de analistas, prestando especial atención a las del teniente Antonio García Ruiz destinado en la Batería de cañón 35/90, quien tiene una gran experiencia con microsátélites y fue quién propuso el tema del Trabajo Fin de Grado. Por otro lado, se expondrá un análisis DAFO sobre los sistemas de microsátélites en las redes de comunicaciones.

3.1. Resultados del análisis cualitativo

En este apartado queremos analizar las respuestas del grupo de analistas (ver Anexo I) y demostrar la importancia que pueden llegar a tener los microsátélites al desplegar en lugares donde con los medios que disponemos actualmente no se nos proporciona una cobertura eficaz para poder llevar a cabo la misión encomendada. Debemos tener en cuenta que, en la actualidad, en el ámbito de las FAS, el uso de microsátélites no es algo usual ni algo con lo que el personal esté familiarizado. Para expandir la información se desarrollaron unas conferencias⁴ en las que pudimos dar unas nociones básicas al personal de la unidad sobre la importancia que van adquiriendo las nuevas tecnologías y, un claro ejemplo de ello es la utilización de microsátélites para disponer de redes de comunicaciones.

⁴ Estas conferencias se pudieron realizar al personal de la unidad con la colaboración del teniente García Ruiz.



En primer lugar, es esencial saber la opinión y el conocimiento que tiene el grupo de analistas sobre las capacidades actuales con las que dispone el ET a la hora de transmitir datos y los medios con los que estamos dotados hoy en día, aspecto fundamental para poder compararlos con las características y las ventajas competitivas que nos ofrecen los microsatélites. Las respuestas a la pregunta *¿conoce usted los medios para la transmisión de datos con los que dispone el ET?* fueron similares. Estas respuestas se resumen de la siguiente manera; actualmente el espectro electromagnético está dividido en diferentes bandas de frecuencia para la transmisión de datos, donde nos encontramos: *High Frequency* (HF), *Very High Frequency* (VHF) y *Ultra High Frequency* (UHF) cada una de ellas utilizadas dependiendo de los medios que usemos o de la gama de frecuencia a la que queramos transmitir el mensaje. El Ejército de Tierra dispone de materiales de medios de transmisión de información en cada una de las bandas de frecuencia de todo el espectro electromagnético. Esta primera pregunta que se recoge en la entrevista personal está centrada en la transmisión de datos dentro de la banda de frecuencia HF y VHF. En el ámbito del ET, los medios más destacados para transmitir datos en las bandas anteriormente mencionadas son los radios Harris RF-5800 y la PR4G RT-9200 V3 ya que los modelos V1 y V2 no pueden enviar datos. A continuación, hemos recogido en un cuadro comparativo las principales diferencias entre ambos medios.

	PR4G RT-9200	Harris RF-5800
Peso	7 kilogramos	4,7 kilogramos
Potencia media	18,61 W	9 W
Modos de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> - Modo espera (intensidad: 0,385 A; potencia: 5,54 W). - Modo transmisión (intensidad: 2,2 A; potencia: 31,68 W). 	<ul style="list-style-type: none"> - Modo simplex o dúplex (intensidad: 15 A; potencia: 9W).
Tensión nominal	14,4 V	14,4 V
Energía necesaria	10,77 Wh	9 Wh
Energía / día	258,48 Wh / día	216 Wh / día
Banda de frecuencia	Trabaja en la banda VHF	Trabaja tanto en HF como en VHF
Alcance máximo	10 kilómetros	Intercontinental. Siendo el alcance máximo del modelo Harris RF 7800S de 2 kilómetros en terreno abierto y 800 metros en terreno edificado

Tabla 3. Comparación de los actuales medios para la transmisión de datos en el ET (fuente: elaboración propia)



Una vez sacadas las conclusiones en la tabla comparativa que hemos realizado anteriormente sobre esta primera pregunta, pasamos a la siguiente. Hubo diversidad de opinión en las respuestas a la pregunta: *¿Nos proporcionan toda la cobertura y capacidad de transmisión de datos requerida en ejercicios u operaciones en terreno no convencional, como pueden ser infiltraciones en terrenos montañosos, donde como sabemos debido a la orografía de este tipo de terrenos el enlace no es del todo óptimo?* Algunos analistas consideran que había que dar un salto tecnológico para no encontrarnos con este tipo de problemas respecto al enlace y la cobertura cuando llevásemos a cabo operaciones de riesgo extremo. Este salto tecnológico consiste en la utilización de pequeños satélites con un sistema similar al que tienen los drones con una capacidad y autonomía para poder ser lanzados sobre la zona donde se quieran llevar a cabo las operaciones, y de esta manera, crear una red de comunicaciones que nos faciliten el enlace con nuestras unidades.

Respecto a la pregunta anterior, donde el grupo de analistas se ha enfocado en dar un salto tecnológico en las comunicaciones le sigue: *¿Cree que sería interesante instalar sistemas de microsátélites en el ET español? ¿Por qué?* Donde las respuestas fueron similares, ya que la mayoría estaban de acuerdo en que la utilización de estos sistemas nos proporcionarían grandes capacidades destacando la reflexión a la que llegué junto a mi director militar (DIRMIL): “Conforme los tiempos van avanzado es necesario ir actualizando los medios de transmisión de datos de los que disponemos ya que tienen la vulnerabilidad de ser conocidos por el enemigo y correr el riesgo de que sean jaqueados poniendo en peligro la vida de nuestras tropas; es por eso, por lo que pienso que la creación de un sistema de microsátélites es fundamental usando la tecnología *Blockchain* (cadena de bloques)”, la cual señalamos como fortaleza en el análisis DAFO.

Los microsátélites son un sistema tecnológico que no está desarrollado en el ámbito de Defensa. Es necesario que antes de implantar pequeños satélites para disponer de redes de comunicaciones sería primordial impartir formación en las unidades tanto de transmisiones como en el resto de las especialidades fundamentales para que todos sean capaces de conocer el funcionamiento de un microsátélite y poder usarlo en las situaciones donde sea necesario. La idea fuerza es utilizar estos pequeños satélites (como el uso de drones) que se pueden transportar por la propia unidad y ser desplegados en zonas donde por la dificultad del terreno o por la situación en la que se encuentre la operación que estemos desarrollando nos sea imposible establecer enlace tanto con nuestro escalón superior como subordinado. Esta facilidad nos introduce a la siguiente cuestión: *¿cree que sería interesante impartir formación mediante expertos en las unidades de transmisiones o cree que habría que concienciar a todo el personal de las FAS?* Las respuestas fueron similares, estando todo el grupo de analistas de acuerdo en la importancia de ir innovando nuestros medios poco a poco para alcanzar la excelencia.

En cuanto a la pregunta: *¿Con qué ventajas e inconvenientes nos encontraríamos al incorporar este tipo de pequeños satélites?*, las respuestas fueron muy distintas por lo que decidimos ir recogiendo las opiniones de cada analista y junto con la mía, realizamos un análisis DAFO donde se recogen las principales fortalezas, amenazas, debilidades y oportunidades que nos pueden generar estos pequeños satélites.

Por otro lado, con la idea de la Brigada experimental 2035 y la renovación de los elementos de mando y control, creímos que sería muy interesante emplear el uso de microsátélites ya que se mejorarían en gran medida las prestaciones actuales. La principal idea de la red CIS en el proyecto de Brigada 2035, es la creación de una red de Mando y Control fiable que garantice la conectividad en lugares urbanizados complejos; esta red tendrá una gran capacidad para tomar decisiones clasificando un alto volumen de



información dependiendo de las necesidades con las que tengamos que hacer frente en ese momento. Dentro de las mejoras que se quieren llevar a cabo en cuanto a los medios CIS, como son la creación de sistemas autónomos de reencaminamiento de tráfico por redes múltiples, los microsátélites podrían jugar un papel esencial, ya que estos sistemas son capaces de generar redes con una cobertura de entre unos 80 a 90 kilómetros cuadrados; es por eso, por lo que la generación de redes múltiples con microsátélites sería muy eficaz y a la vez que económico. (Ejército de Tierra. Fuerza 35. Página 35, 2019).

En la actualidad se está trabajando en redes de comunicaciones creadas por microsátélites, aunque ningún ejército cuenta con este servicio; por ese motivo tan interesante concretamos la siguiente pregunta: *¿cree que la creación de esta red de comunicaciones a través de microsátélites aumentaría el prestigio y potencial del ET?* Destacamos la respuesta del Capitán D. Francisco Javier Franco Rodríguez actual jefe de la batería de Plana Mayor de Mando del Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA II/30) en Ceuta; donde decía lo siguiente: “Actualmente, el fondo destinado a Defensa es escaso por la situación económica en la que nos encontramos, pero es hora de dar un salto tecnológico en el ámbito de las FAS y ser pionero en el desarrollo de sistemas de comunicaciones, aprovechando los proyectos que actualmente existen y donde se han usado microsátélites de origen español. Este avance tecnológico puede ser vital para que España gane en importancia en la Unión Europea y el resto de los ejércitos del mundo copien esta innovación tecnológica que como ya hemos visto durante el estudio nos generará más ventajas que inconvenientes, aumentando así el prestigio de las FAS españolas y su capacidad de desarrollo tecnológico”.

Para concluir esta entrevista personal, y en vista a todo lo hablado con anterioridad, podemos asegurar que las redes de comunicaciones deben sofisticarse proporcionándonos un alcance y un enlace eficaz para cualquier situación en las que la vida de nuestros hombres y mujeres esté en peligro. De igual modo concluimos en que la preparación técnica del personal debe ser fundamental para conseguir los objetivos de operatividad necesarios.

3.2. Resultados del análisis cuantitativo

En el siguiente apartado hemos llevado a cabo un cuestionario en la unidad como ya se ya se ha mencionado con anterioridad, con el objetivo de mostrar de forma gráfica la opinión del personal (ver Anexo III). Una vez realizadas estas conferencias, pudimos sacar unas conclusiones de las diferentes respuestas que reflejamos a continuación.

La distribución del personal con respecto a su empleo/rango fue como sigue: el 40% del personal entrevistado fueron oficiales, el 30% suboficiales y el otro 30% fue personal de tropa que desempeñaban su labor en el Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático Medio (COAAAS-M), teniendo la mayoría del personal una antigüedad de unos 15 años de servicio.

En cuanto a la pregunta: *Una vez informado sobre la función que pueden llevar a cabo los microsátélites, ¿cree que sería importante destinar fondos a investigar y poder implementarlos a medio/largo plazo?*, un 50% de los entrevistados (ver anexo III) están totalmente de acuerdo ya que es un avance tecnológico que nos puede proporcionar muchas ventajas tanto competitivas como económicas al poder exportarlo a otros ejércitos, mientras que el resto de los entrevistados afirmaban que este avance tecnológico al ser tan técnico iba a requerir una gran cualificación del personal y optaban por destinar esos fondos a mejorar los medios con los que contamos hoy en día.

Otro factor que consideramos muy importante a la hora de realizar el estudio fue el



hacer ver al personal las ventajas que tienen estos pequeños satélites, objetivo que conseguimos ya que el resultado a la afirmación: *El uso de redes creadas por microsátélites proporciona unas ventajas de las que no disponemos con los medios empleados hoy en día*, fue de un 50% del personal que consideraba que las ventajas que nos proporcionan las redes creadas por microsátélites al ser indescifrables mejoraran la seguridad a la hora de transmitir datos.

Por otro lado, al ser un sistema tecnológico pionero y al haber poca experiencia con el uso de microsátélites, un 40% de los entrevistados estaban conformes que con la incorporación de estos sistemas se requeriría una alta especialización del personal.

Esta herramienta ha sido fundamental para difundir la idea principal del proyecto haciendo ver al personal que los tiempos van avanzando y el enemigo cada vez se va desarrollando más tecnológicamente hablando, factor que tenemos que contrarrestar para no ser vulnerables mediante el desarrollo tanto tecnológico como intelectual.

3.3. Análisis DAFO

El análisis DAFO⁵ es una herramienta utilizada para exponer de forma esquematizada toda la información extraída de la entrevista y el cuestionario anteriormente analizados. En este análisis se reflejan las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que nos proporcionan los microsátélites en cuanto a sus factores generales.

- **Debilidades:**

- Una de las principales debilidades que tienen los microsátélites es que, al ser actualmente un material desconocido, necesita un alto grado de especialización por parte del personal de las unidades para poder obtener todas las ventajas competitivas que nos pueden ofrecer. Esta especialización del personal requiere que se haga una inversión en personal cualificado para que proporcione el conocimiento necesario a nuestras tropas con el objetivo de alcanzar los objetivos solicitados. A su vez, como es un sistema tecnológico necesitará un alto grado de mantenimiento tanto físico como informático para obtener constantemente las actualizaciones del software con el que esté codificado y la aplicación de actualizaciones que nos permitan mejorar sus prestaciones.
- Otra debilidad a la que tenemos que hacer frente es al control de estos pequeños satélites una vez que son lanzados al espacio aéreo y que están configurados con una batería que cuenta con una autonomía de 48 horas y si en ese tiempo la operación no se ha podido llevar a cabo debido a las diferentes vicisitudes del momento, habría que cambiar sus baterías.

Para hacer frente a esta debilidad sería fundamental la fabricación en serie de baterías, transportadas como parte del equipo individual del combatiente y que permitan aumentar la autonomía de estos pequeños

⁵ Este tipo de herramientas nos la han proporcionado en el grado universitario en la asignatura de Calidad y es de gran utilidad para poder llevar a cabo la toma de decisiones.



- **Fortalezas:**

- La principal fortaleza y que lo diferencia de un satélite convencional es la capacidad que tiene para ser indescifrable mediante la tecnología *Blockchain* la cual está despertando el interés de grandes superpotencias en el ámbito militar, principalmente en el estratégico. Esta tecnología está caracterizada por permitir gestionar datos y órdenes a través de un sistema de registro distribuido o descentralizado que se anota en bloques de información encadenados secuencialmente creando una cadena de bloques inalterable. (Palomo-Zurdo, R., 2018).

Es evidente el gran rendimiento que puede aportarnos en el desarrollo de las operaciones por sus características de inmutabilidad, seguridad cibernética y verificabilidad, elementos clave para garantizar la seguridad en operaciones. Por otro lado, al tener la capacidad de ser descentralizador, puede garantizar la supervivencia de los CIS militares. Debido a esto, los departamentos de Defensa de grandes potencias como EE.UU., Francia, Reino Unido, etc...y las principales organizaciones CIS internacionales como la Agencia de Comunicaciones e Información de la OTAN (NCIA) o la *European Defense Agency* (EDA), están realizando grandes inversiones de capital para llevar a cabo el estudio de su posible aplicación a los sistemas existentes. (Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. Tendencias 2018-2019. Vol II. p. 10, 2020).

Los países de nuestro entorno que están comenzando a desarrollar esta nueva tecnología se están centrando principalmente en la creación de redes de mensajería de máxima supervivencia para la gestión de recursos estratégicos críticos (lo cual coincide exactamente con el propósito de este proyecto), detección de amenazas cibernéticas y la verificación de aprovisionamientos. (Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales. Tendencias 2018-2019. Vol II. p. 10, 2020).

- Otra gran fortaleza con la que están dotados estos pequeños satélites es el tamaño y el peso que poseen ya que los hacen ser fácilmente transportables, siendo su tiempo de desarrollo de unos 8 meses a diferencia de los satélites convencionales que precisan de un periodo fabricación de entre 2 a 5 años. Una vez fueran implementados estos microsátélites en las FAS se podrían introducir como parte del equipo individual del combatiente, principalmente para los equipos de operaciones especiales puesto que serán los que realicen misiones más complejas donde por la orografía del terreno o por los medios que disponga el enemigo para anular nuestras comunicaciones (como puede ser el uso de inhibidores convencionales) sea primordial el uso de microsátélites para tener cobertura y enlace radio ante cualquier contratiempo.



- **Amenazas:**

- Con el desarrollo de estas redes de microsatélites indescifrables por el enemigo existe una amenaza real por parte de potencias como Estados Unidos o Rusia que destinan gran cantidad de fondos a Defensa y que ven como se está explotando el éxito mediante las comunicaciones con microsatélites que hacen que se obtengan ventajas competitivas respecto al resto de países.

Estas potencias, debido a su desarrollo tanto tecnológico como táctico pueden ser capaces de crear estas redes de microsatélites similares a las que estamos comentando u otras redes similares basadas en otras tecnologías. Un claro ejemplo de estas ventajas competitivas con las que cuentan hoy en día los EE. UU. es la utilización de un zepelín en el campo de batalla que les proporciona una cobertura de unos 100 kilómetros cuadrados (ver anexo IV).

- Una amenaza real consiste en la posible localización del microsatélite por parte del enemigo en el momento en que es lanzado. La utilización de inhibidores y de radares pueden provocar dificultades en el funcionamiento del microsatélite por lo que es fundamental contar con tecnología que pueda hacer frente a esta amenaza.
- Por último, es importante mencionar la amenaza que supone el tiempo atmosférico, ya que por el reducido tamaño de los microsatélites en unas condiciones atmosféricas extremas podría poner en riesgo el éxito de la misión. Es por eso, por lo que es fundamental llevar a cabo pruebas de testeo donde se vea realmente la capacidad de resistencia que tienen estos pequeños satélites.

- **Oportunidades:**

- El desarrollo de microsatélites nos proporciona una gran competencia operativa respecto al resto de ejércitos debido al aumento de cobertura con el que éste nos dota, sorprendiendo de manera eficaz al adversario llegando a lugares donde con los medios con los que disponemos hoy en día sería imposible. Desde un punto de vista táctico se incrementaría el factor sorpresa.
- Otro aspecto importante a tener en cuenta es la gran oportunidad que se nos presenta respecto a la participación en nuevas misiones internacionales. Tener a nuestro alcance la capacidad de crear una red de comunicaciones mediante microsatélites hace que el prestigio de nuestras FAS aumente provocando así la participación del ejército español en colaboraciones junto a otros ejércitos en misiones tanto de paz como de guerra.
- Por último, pero no menos importante, es el aspecto económico, ya que si una vez testado y apto para su uso, nos generaría unas ventajas competitivas que no poseen actualmente ningún otro ejército, a excepción de los que ya han sido mencionados. Nuestro modelo sería, por tanto, exportable, para que pueda ser utilizado por otros ejércitos generándose un aumento del número de exportaciones internacionales, aspecto fundamental para la mejora económica.



DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento no convencional al ser un sistema tecnológico vulnerable • Material poco conocido • Alta inversión para especialización del personal • Control de los pequeños satélites una vez desplegados en el espacio aéreo 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible aparición de un conflicto entre potencias • Desarrollo de redes de microsatélites complejas • Detectables en el terreno causando su posible derribo • Sensibles al tiempo atmosférico
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas indescifrables • Tamaño y peso reducidos • Mejora del enlace en terrenos complejos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la competencia operativa • Participación en nuevas misiones internacionales • Difusión al resto de ejércitos

Tabla 4. Análisis DAFO (fuente: elaboración propia)

3.4. Análisis económico

En el siguiente punto vamos a realizar un análisis económico sobre cuál sería el coste real al que tendríamos que hacer frente si quisiéramos poner en órbita este tipo de microsatélites, teniendo en cuenta cuál es el precio de la fabricación del microsatélite y las diferentes pruebas que tiene que ser capaz de pasar para poder orbitar.

Para realizar un análisis económico⁶, es fundamental la planificación de la gestión de costes, una estimación de estos y su exhaustivo control; seguido de una preparación del presupuesto, con el objetivo de analizar el efecto que causarían en las decisiones tomadas para la ejecución del proyecto.

Es cierto que el desarrollo de pequeños satélites ha ayudado a disminuir el coste y el tiempo de fabricación de estos sistemas, siendo el tiempo medio de fabricación de un microsatélite de unos 8 meses a diferencia del tiempo empleado para desarrollar un satélite convencional que asciende de unos 2 a 5 años. Por otro lado, debemos tener en cuenta que el impacto tanto económico como operativo que genera la pérdida de un satélite convencional durante su periodo de pruebas no es comparable al fallo de un microsatélite, ya que se pueden reponer rápidamente en un tiempo corto y a un coste asumibles.

Durante el periodo de testeo es primordial realizar pruebas a baja y alta temperatura, con humedad relativa y bajo condiciones de lluvia incesante para ver la capacidad que tiene el microsatélite de soportar estas condiciones. Otra prueba fundamental consiste en la capacidad que tiene el pequeño satélite de soportar vientos a altas velocidades debido a su peso y tamaño. Siendo el Campo de Tiro y Maniobras de San Gregorio de Zaragoza un buen lugar para poder realizarlas.

⁶ Herramienta utilizada en la asignatura de Oficina de Proyectos, impartida en el cuarto curso del Grado de Ingeniería de Organización Industrial por el Centro Universitario de la Defensa, en la Academia General Militar de Zaragoza.



Fabricación por satélite	Lanzamiento y su correspondiente puesta en órbita (para su puesta en órbita es necesario lanzar entre 4 o 5 microsatélites para generar una red de comunicaciones automáticamente)	Pruebas de testeo	Total
1000 euros	25000 euros	Entre unos 20000 y 30000 euros	Alrededor de unos 50000 euros

Tabla 5. Análisis económico (fuente: datos proporcionados en la entrevista personal por el ingeniero Julián Fernández, fundador del microsatélite FossaSat-1)



4. LÍNEAS DE TRABAJOS FUTURAS

Una vez analizados nuestros medios de transmisión de datos, unido a las posibles limitaciones que pueden generarnos el estudio y desarrollo de sistemas de microsátélites, para disponer de redes de comunicaciones en el ámbito de las FAS, puede resultar muy interesante para mejorar las comunicaciones a medio o largo plazo. Este tipo de estudios y desarrollos de sistemas tecnológicos requieren líneas de investigación complejas.

Los pequeños satélites pueden ser de gran utilidad también tanto en el Ejército del Aire como en la Armada Española, debido a la gran cantidad de colaboraciones interejércitos que se llevan a cabo. No digamos ya para las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado.

La posible implementación de estos microsátélites en el Ejército del Aire sería la creación de pequeños satélites con la capacidad de poder acoplarse a los helicópteros tanto de guerra, como de maniobra o transporte, generando así una red de comunicaciones de la cual se pueden beneficiar las tropas de a pie.

Por otro lado, sería interesante el estudio de microsátélites a bordo de submarinos que proporcionen redes de comunicaciones en zonas concretas ya que con los medios con los que cuentan hoy en día (uso de señales acústicas, más conocido como sonar⁷) resulta muy complicado debido a la compleja orografía del suelo marino.

Un ámbito de aplicación donde podría resultar muy útil la disposición de un sistema de microsátélites es en la implantación de las redes LORA⁸ ya que al ser redes de grandes áreas y bajo consumo, requiere la necesidad de establecer métodos de comunicación que nos proporcionen un gran alcance. Estas redes LORA tienen una conectividad de unos 20 kilómetros y gracias a la triple encriptación que posee, le hace tener una conectividad segura. A la vez, su alta tolerancia a las interferencias y la alta sensibilidad para recibir datos le hace ser una red que configurada mediante una red de microsátélites nos permitiría mejorar las comunicaciones y obtener ventajas competitivas.

⁷ Acrónimo inglés de *Sound Navigation and Ranging*

⁸ Consiste en un tipo de modulación en radiofrecuencia. Información obtenida del Trabajo Fin de Grado del CAC. Héctor Mainar Rubio de Artillería.



[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]



5. CONCLUSIONES

Hoy en día, el mundo de las nuevas tecnologías está en constante evolución, debido a la necesidad de hacer frente a amenazas cada vez más difíciles de contrarrestar por su alta complejidad tanto técnica como operativa. Por este motivo, se ha realizado el estudio sobre la posible puesta en escena de un sistema de microsátélites para disponer de una red de comunicación que nos garantice el desarrollo de operaciones de alto riesgo, gracias en gran parte, a la capacidad de ser un sistema indescifrable por su codificación mediante el uso de la tecnología *Blockchain*.

En cuanto al análisis y desarrollo del proyecto lo hemos enfocado principalmente a obtener información tanto con una entrevista personal al grupo de analistas como con un cuestionario anónimo que se proporcionó al personal de la unidad. Cabe resaltar la importancia que le damos a la oportunidad que se me brindó al poder llevar a cabo conferencias tanto a mandos como a suboficiales y tropa para hacer ver que estos pequeños satélites son el futuro y que las capacidades con las que dotaríamos a nuestras tropas serían infinitamente mejores que con las que contamos hoy en día. Tanto es así, que los resultados de las encuestas anónimas cambiaron drásticamente al realizarlas después de llevar a cabo las conferencias, estando la mayor parte del personal de acuerdo en la implantación de microsátélites.

Otro aspecto fundamental para tener en cuenta es el análisis DAFO, lo cual se consideró muy interesante para ver de una manera esquemática las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que nos proporcionan estos pequeños satélites, y así ayudar a la toma de decisiones. Por otro lado, se ha llevado a cabo un análisis económico gracias en gran parte a la información que nos proporcionó Julián Fernández (ver Tabla 5), para determinar si era viable o no la implantación de estos sistemas de microsátélites. Confiamos en que este será el futuro de las comunicaciones en el campo de batalla, cooperando de igual manera a la consecución de objetivos marcados por el jefe del Estado Mayor del Ejército de Tierra (JEME) para el año 2035.

Para concluir, decir que ejecutar un TFG requiere de una sólida formación que se nos ha proporcionado gracias al grado de Ingeniería de Organización Industrial, realizando análisis con herramientas que hemos ido consolidando además de la precisión y eficacia a la hora de determinar qué información puede ser valiosa para tomar decisiones.



[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Mata, 2021. *El Confidencial*.

Available at: https://www.elconfidencial.com/espana/2021-01-12/defensa-asegura-comunicaciones-satelite-tropas-hasta-2024-por-136-millones_2895504/

[Último acceso: 15 Septiembre 2021].

Alejo, A. J. C., s.f. *Red Tauros*.

Available at:

http://www.redtauros.com/Clases/Medios_Transmision/08_Red_Transmision_Satelital.pdf

[Último acceso: 6 Noviembre 2021].

Defensa, 2014. *System & Software Engineering*.

Available at: <https://www.gtd.es/es/blog/las-comunicaciones-por-satelite-militares>

[Último acceso: 21 Septiembre 2021].

Echevarría, L. I., 1990. *Satélites de Comunicaciones de la Defensa*.

Available at: [file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-SatelitesDeComunicacionesDeLaDefensa-2772700%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-SatelitesDeComunicacionesDeLaDefensa-2772700%20(2).pdf)

[Último acceso: 13 Septiembre 2021].

EFE, 2020. *Agencia EFE*.

Available at: <https://www.efe.com/efe/espana/efefuturo/despega-un-cohete-vega-con-53-microsatelites-entre-ellos-el-espanol-upmsat-2/50000905-4333920>

[Último acceso: 20 Septiembre 2021].

Ejército de Tierra, 2019. *Fuerza 2035*.

Available at:

https://ejercito.defensa.gob.es/Galerias/Descarga_pdf/EjercitoTierra/Publicaciones/fuerza_35.pdf

[Último acceso: 22 Septiembre 2021].

Grupo Alen, 2021. *Alén*.

Available at: <https://alen.space/es/guia-basica-nanosatelites/>

[Último acceso: 12 Septiembre 2021].

Hernández, C. 2020. *Estudio sobre la posible incorporación de misiles tácticos terrestres al Ejército de Tierra Español. Trabajo Fin de Grado del Centro Universitario de la Defensa en Zaragoza*.

Instituto Universitario de Microgravedad "Ignacio Da Riva", 2021. *Universidad Politécnica de Madrid*.

Available at: <http://www.idr.upm.es/index.php/es/el-proyecto-upm-sat-2>

[Último acceso: 22 Septiembre 2021].

Mainar, H. 2021. *Necesidad de enlace de datos de una GACA para la implantación de todas las células TALOS necesarias. Trabajo Fin de Grado del Centro Universitario de la Defensa en Zaragoza*.

Mando de Adiestramiento y Doctrina. Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales, 2020. *Tendencias 2018-2019. Transmisiones*. Granada.

Martínez, J. M., 2009. *Radio Televisión Española*.

Available at: <https://www.rtve.es/noticias/20090517/internet-nacio-proyecto-militar-estados-unidos-guerra-fria/276608.shtml>



[Último acceso: 12 Septiembre 2021].

Montaño, J. M. G., 2015. *Plan Director de Sistemas Espaciales*.

Available at: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-sistemas-espaciales.pdf>

[Último acceso: 25 Septiembre 2021].

Palomo-Zurdo, R., 2018. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*.

Available at: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2018/DIEEE070-2018_Blockchain_PalomoZurdo.pdf

[Último acceso: 5 Octubre 2021].

Poblete, P. M., 2017. *Data Link Tactico*.

Available at: <https://revistamarina.cl/revistas/2017/5/pmacchiavellop.pdf>

Ptolomeo.Unam, s.f. *Ptolomeo Unam*.

Available at: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/162/5/A5.pdf>

[Último acceso: 10 Septiembre 2021].

Riera, J. T., 2006. *Nanosatélites, Microsatélites y Minisatélites: Una alternativa de futuro*, Zaragoza: Ibercaja Zentrum.

Rodríguez, A., 2012. *slideshare*.

Available at: <https://es.slideshare.net/punk-andii/definicin-de-red-de-comunicaciones>

[Último acceso: 14 Septiembre 2021].

Sener, G., *Grupo SENER*.

Available at: pioneeringspace.sener.es/experiencias/minisat-primer-satelite-espanol-con-sello-sener

[Último acceso: 22 Septiembre 2021].

Timothy Pratt, J. A., 2020. *Satellite Communnications*. Third Edition. Virginia. Ed:Wiley.

Zamora, S., 2019. *La Verdad*.

Available at: <https://www.laverdad.es/sociedad/cohete-20190510115820-ntvo.html>

[Último acceso: 13 Septiembre 2021].

7. ANEXOS

7.1. Anexo I: Entrevista a analistas

Para poder llevar a cabo este Trabajo de Fin de Grado (TFG), el CAC Francisco Cantizano Reina ha realizado una entrevista para obtener información de los microsátélites y de cómo poder implementarlos en las FAS para obtener ventajas competitivas, y a su vez, recoger la opinión del grupo de analistas, punto fundamental para la realización del trabajo.

NOTA: la entrevista a expertos se ha realizado de forma anónima y será de difusión limitada:

- 1) ¿Podría hablarme acerca de su trayectoria militar (promoción a la que pertenece, años de servicio, misiones, destinos...)?
- 2) ¿Conoce usted los medios para la transmisión de datos con los que dispone el ET?
- 3) ¿Nos proporciona toda la cobertura y capacidad de transmisión de datos requerida en ejercicios/operaciones en terreno no convencional (infiltraciones en terrenos montañosos, despliegues en operaciones internacionales,)?
- 4) ¿Ha tenido la oportunidad de trabajar con alguna red de comunicaciones creada por pequeños satélites (ya sean microsátélites, nanosatélites, pico satélites,)?
- 5) Conforme a todo lo expuesto anteriormente, ¿cree que sería interesante instalar sistemas de microsátélites en el ET español? ¿Por qué?

En caso afirmativo:

- 6) ¿Cree que sería interesante impartir formación mediante expertos en las unidades de transmisiones o cree que habría que concienciar a todo el personal de las FAS?
- 7) ¿Con qué ventajas e inconvenientes nos encontraríamos al incorporar este tipo de pequeños satélites?

En caso negativo (o si no fuera posible su incorporación):

- 8) Una vez desarrollada la idea de la Brigada experimental 2035 y la renovación de los elementos de mando y control, ¿cree que con el uso de microsátélites se mejorarían estas prestaciones?
- 9) ¿Cree que la creación de esta red de comunicaciones a través de microsátélites aumentaría el prestigio y potencial del ET?
- 10) Para finalizar, ¿quiere hacer algún comentario o aportación sobre este tema?

7.2. Anexo II: Cuestionario Personal GAAA II/30

Para poder llevar a cabo este Trabajo de Fin de Grado (TFG), el CAC Francisco Cantizano Reina ha realizado un cuestionario al personal de la unidad de forma totalmente anónima para obtener información sobre qué conocimientos de microsátélites tiene el personal y si piensan que puede ser interesante su implementación en las FAS.

- a) ¿A qué escala del ET pertenece? Rodee la opción correcta.

Oficiales
Suboficiales
Tropa

- b) ¿Cuántos años de servicio acumula? Rodee la opción correcta.

Menos de 15
Entre 15 y 20
Más de 20

- c) ¿Tiene conocimiento sobre pequeños satélites (aunque sea conceptual, lectura de artículos relacionados, ...)? Rodee la opción correcta.

SÍ
NO

- d) Se está sacando el máximo rendimiento a los medios de transmisiones con los que disponemos hoy en día en las unidades

0 1 2 3 4 5 6

- e) La mayor parte del personal de las unidades se encuentra completamente instruido en tema de transmisión de datos (configuración de radios y establecer enlace)

0 1 2 3 4 5 6

- f) Sería interesante llevar a cabo jornadas de aprendizaje para concienciar de la importancia de las comunicaciones mediante microsátélites.

0 1 2 3 4 5 6

- g) Una vez informado sobre el funcionamiento del sistema de microsátélites, destinaría fondos a investigar y poder implementar este sistema en un futuro en las Fuerzas Armadas.

0 1 2 3 4 5 6

- h) El uso de redes creadas por microsátélites proporciona unas ventajas de las que no disponemos con los medios que tenemos hoy en día.

0 1 2 3 4 5 6

- i) La incorporación de estos sistemas requiere una alta especialización de cierto personal.

0 1 2 3 4 5 6

- j) Es necesaria y urgente la incorporación de microsátélites en las Fuerzas Armadas.

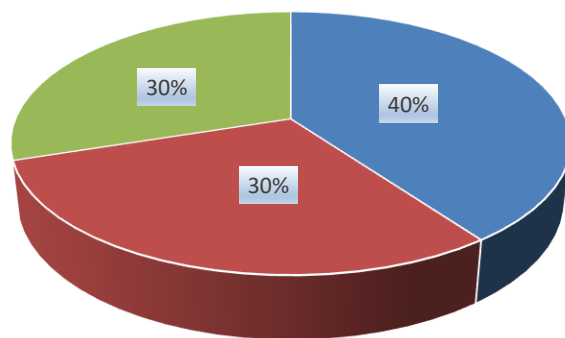
0 1 2 3 4 5 6

7.3. Anexo III: Resultados del cuestionario

En el siguiente anexo se recogen de manera gráfica los resultados que se han obtenido del cuestionario realizado al personal de la unidad. En el gráfico se muestran las preguntas y afirmaciones que se han considerado interesantes reflejar (ver anexo II) y el porcentaje de cada una de las respuestas. Los gráficos se describen de la siguiente manera:

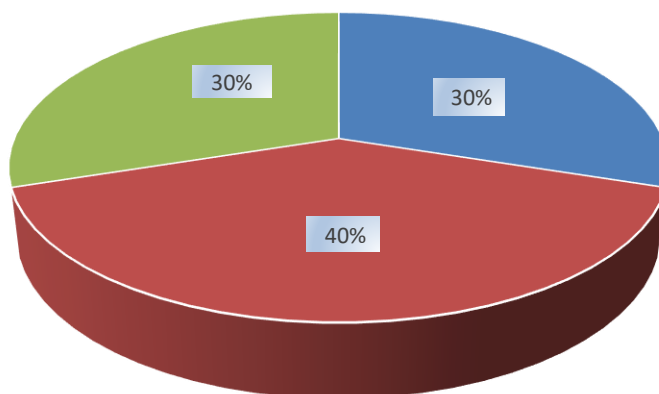
- Valoración de 0: En total desacuerdo – color azul claro
- Valoración de 1: En desacuerdo – color rojo
- Valoración de 2: Conforme – color verde claro
- Valoración de 3: De acuerdo – color violeta
- Valoración de 4: Muy de acuerdo – color verde oscuro
- Valoración de 5: Totalmente de acuerdo – color naranja
- Valoración de 6: Necesario – color azul oscuro

¿A qué escala del ET pertenece?



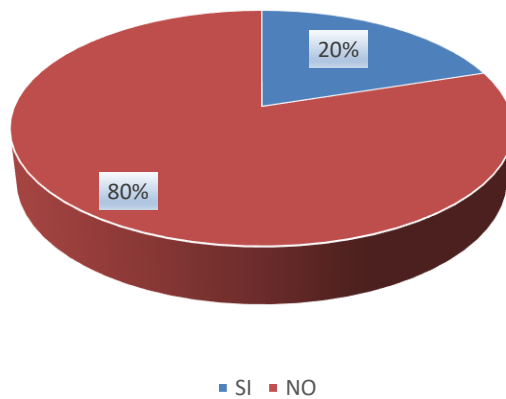
■ Oficiales ■ Suboficiales ■ Tropa

¿Cuántos años de servicio acumula?

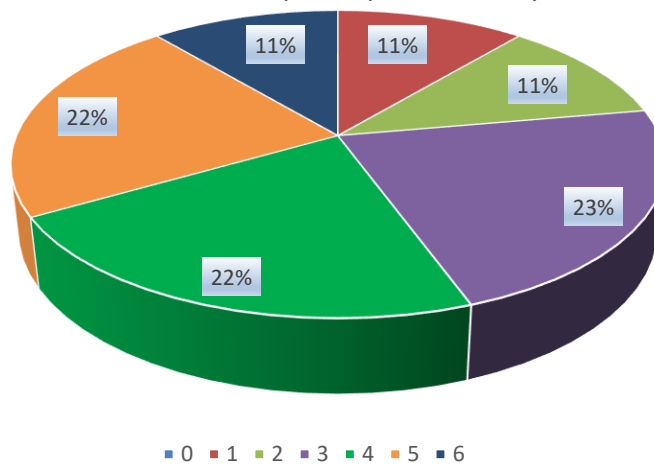


■ Menos de 15 ■ Entre 15 y 20 ■ Más de 20

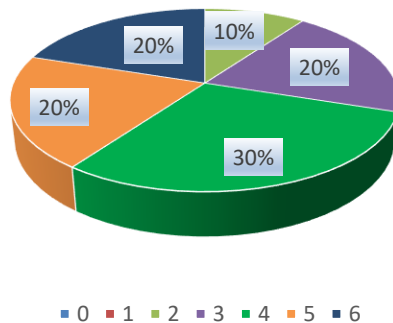
¿Tiene algun noción básica sobre el funcionamiento de los pequeños satélites?



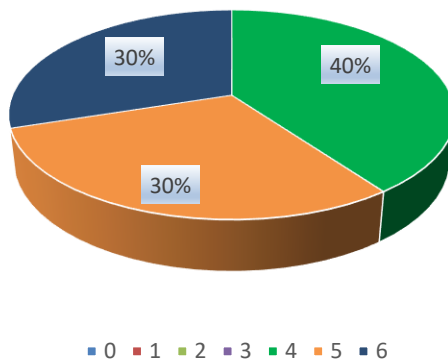
Se está sacando el máximo rendimiento a los medios de transmisiones con los que disponemos hoy en día



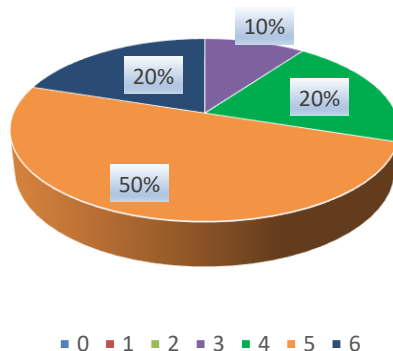
La mayor parte del personal de la unidad se encuentra totalmente instruido en el tema de la transmisión de datos tanto en la configuración de radios como en la capacidad de establecer enlace entre ellas



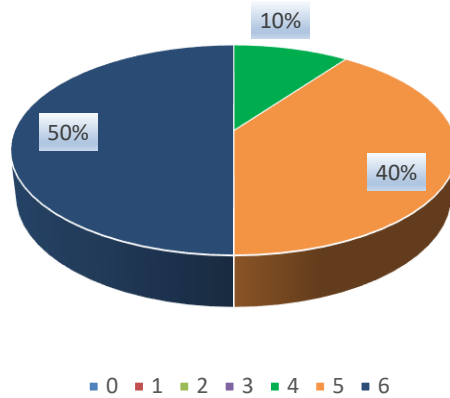
¿Sería interesante llevar a cabo jornadas de aprendizaje para concienciar de la importancia de las comunicaciones mediante microsátélites?



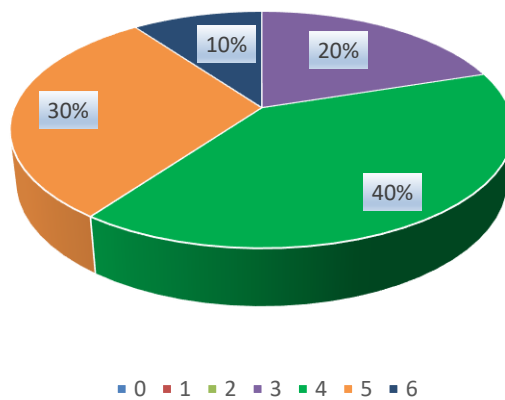
Una vez informado sobre la función que pueden llevar a cabo los microsátélites, ¿cree que sería importante destinar fondos a investigar y poder implementarlos a medio/largo plazo en las FAS?



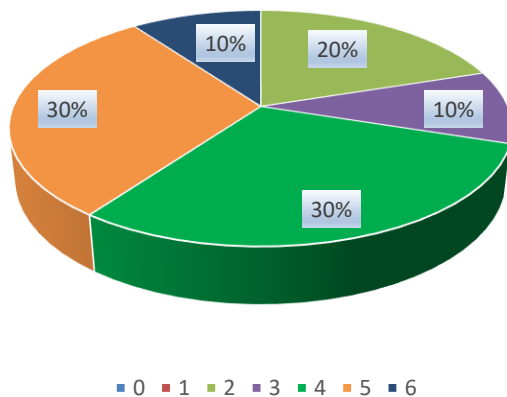
El uso de redes creadas por microsátélites proporciona unas ventajas de las que no disponemos con los medios que tenemos hoy en día



La incorporación de estos sistemas requiere una alta especialización de cierto personal



Es necesaria y urgente la incorporación de microsátélites en las Fuerzas Armadas



7.4. Anexo IV: Zepelín del ejército americano



Tabla 6. Zepelín usado por el ejército americano para crear redes de comunicaciones (fuente: educalingo.com, consultada el 6/10/2021)

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]