



Demostrador de Conectividad 5G
Embarcada en C295 y NH90.



TABLA DE CONTENIDO

<u>Título</u>	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION.....	3
2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	5
3. COMPOSICIÓN DEL SISTEMA.....	6
3.1 Gestor de Comunicaciones Embarcado (ALIMS)	6
3.2 Fan del Gestor de Comunicaciones.....	6
3.3 Modem 5G Embarcado (Aire)	7
3.4 Antena 5G Embarcada (Aire).....	8
3.5 Gestor de Comunicaciones de Tierra (ALIMS).....	9
3.6 Estación Base 5G (Tierra).....	9
3.7 Antena 5G (Tierra)	9
4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	11
4.1 Diagramas de Cableado Eléctrico.....	17
5. ENSAYOS EN LABORATORIO	18
5. ENSAYOS EN TIERRA Y VUELO	20
6. ESFUERZO	22
7. CALENDARIO.....	23
8. RESULTADO Y CONCLUSIONES	24
9. IMPACTO EN LA DIGITALIZACIÓN DEL EJÉRCITO	25



1. INTRODUCCION

Dentro del marco de colaboración entre el Ejército del Aire y del Espacio y las Entidades concursantes, se acordó realizar un demostrador de la capacidad de conectividad 5G privada entre varias aeronaves y tierra con el objetivo de ser presentada en la feria BACSI (Base Aérea Conectada, Sostenible e Inteligente). Para ello el Ejército del Aire y del Espacio propuso el caso de uso de Telemedicina Militar y como aeronaves candidatas a servir de demostrador, el avión C295 y el helicóptero NH90.

Las Entidades ya estaban trabajando internamente y de forma independiente en los principales ladrillos tecnológicos que posibilitarían la conectividad 5G privada entre aeronaves y tierra. Por un lado, el sistema capaz de generar una burbuja 5G privada y, por otro lado, el sistema gestor de comunicaciones que posibilitaría la gestión de los diferentes enlaces de datos involucrados en la demostración, y en particular la gestión del enlace 5G privado.

El Ejército del Aire y del Espacio propuso usar los sistemas con capacidad de Telemedicina que posee la UMAER (Unidad Médica Aerotransportada) y alguna empresa colaboradora, para hacer la demostración de conectividad 5G entre aeronaves y tierra.

El objetivo de la demostración consistía en ser capaces de enviar datos médicos de pacientes embarcados en el C295 y/o en el NH90 a un servidor en tierra al cual podrían acceder los usuarios médicos autorizados y visualizarlos en tiempo real. También se demostrarían las capacidades de videoconferencia desde el avión para asistencia de especialistas desde tierra.

El marco de colaboración acordado fue el siguiente:

- Las Entidades proporcionarían:
 1. Diseño de la instalación mecánica de los equipos a bordo,
 2. Diagramas de interconexión de los equipos a bordo,
 3. Listado de equipos y materiales (cableado, conectores, antenas, bandejas...) necesarios a bordo
 4. Todos los equipos necesarios para demostración (tanto los embarcados como los que formarían el nodo de tierra).
 5. Definición de la configuración de los equipos (embarcados y en tierra)
 6. Definición y soporte a las pruebas funcionales de los equipos embarcados
 7. Realización de las pruebas en laboratorio
 8. Soporte a la realización de todas las pruebas en tierra y vuelo con las aeronaves.
- El Ejército del Aire y del Espacio proporcionaría:
 1. las aeronaves involucradas en la demo (C295 y NH90)
 2. la ejecución de la instalación a bordo a través de Maestranza de Sevilla y Maestranza de Madrid (que realizarían la instalación de los equipos, así como su cableado, en el avión y en el helicóptero respectivamente).
 3. soporte a la gestión/coordiación del proyecto a través de MALOG
 4. equipos de telemedicina y soporte a la demostración, simulando operación real (UMAER)
 5. realización de los ensayos necesarios para la obtención de los permisos de vuelo de las aeronaves involucradas.



La siguiente figura ilustra el concepto de operación de la demostración:

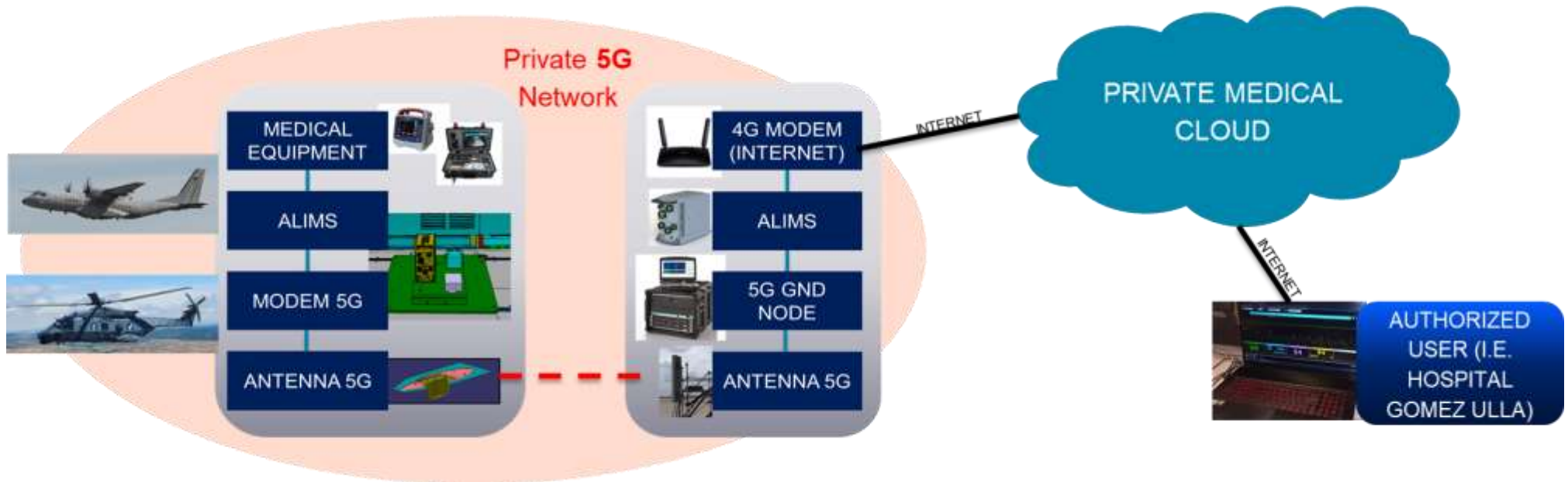


Figura 1. Demo Conectividad 5G Privada. Caso de Uso: Telemedicina Embarcada

Como se puede observar en la figura anterior, los sistemas de telemedicina que posee UMAER vuelcan los datos del paciente en un servidor de la aplicación, al que sólo usuarios autorizados pueden acceder. Dependiendo del equipo de telemedicina utilizado, el acceso es a través de una página web, vía URL/usuario/contraseña o usando en tierra un computador específico preconfigurado y autorizado para acceder al servicio. Lo que hace el demostrador es proporcionar el canal de enlace entre los equipos de telemedicina embarcados en el C295 y/o el NH90 y el servidor de datos médicos ubicado en tierra.

2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura del demostrador 5G puede simplificarse como se muestra en la siguiente figura (basada en un Gestor de Comunicaciones denominado ALIMS, un modem 5G y una antena omnidireccional)

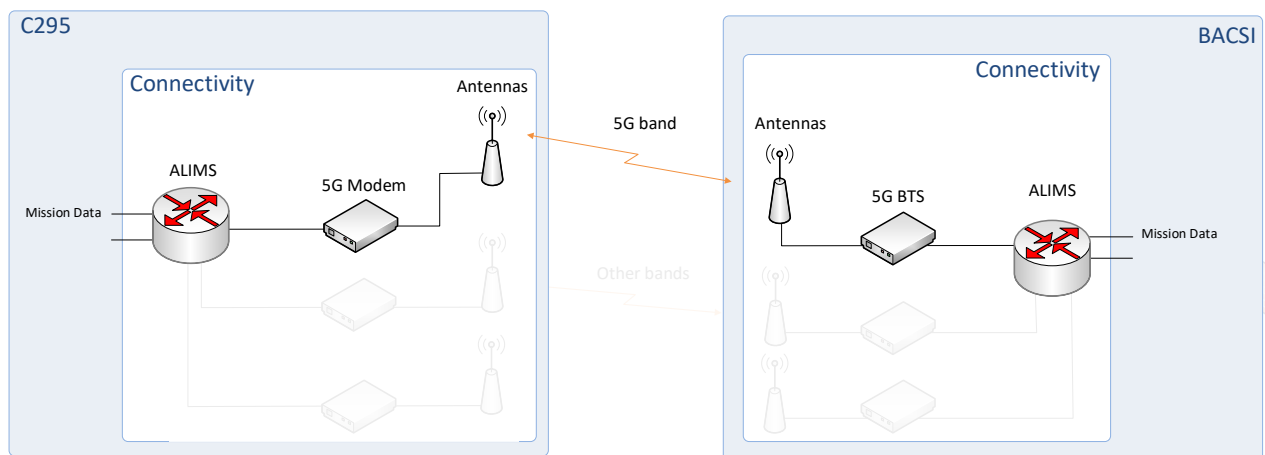


Figura 2. Arquitectura básica del demostrador de conectividad

En las siguientes tablas se describen las principales características de cada equipo:

Tabla 1: Equipos Embarcados del Demostrador 5G






Equipment			Functionality and Characteristics
COMMS Manager (Air)	ALIMS		Gestión de los diferentes sistemas de enlace de datos Gestión de redes y E2E Routing Gestión de datos y seguridad SW instalado en un computador avionable.
5G Modem (Air)	R5020		5G, 4G, y 3G (3GPP Rel 15), WiFi Firewall, IPsec GNSS
5G Antenna (Air)	Antena Blade de Banda Ancha		Omnidireccional Rango de frecuencias 500 a 3000 MHz
Test Equipment	Propaq y/o maleta Commitas		Monitorizar datos vitales del paciente y enviarlos a un servidor en internet usando la conexión 5G del avión.



Tabla 2: Equipos en Tierra del Demostrador 5G

Equipment		Functionality and Characteristics	
COMMS Manager (Ground)	ALIMS		Gestión de los diferentes sistemas de enlace de datos Gestión de redes y E2E Routing Gestión de datos y seguridad SW instalado en un computador un equipo de laboratorio (e.g., Rapsberry pi o Laptop)
5G Base Station (Ground)	5G BTS		5G, 4G, y 3G (3GPP Rel 15) Firewall, IPSec
5G Antenna (Ground)	Antena de repetidor 5G estándar		Sectorial (60 deg) Frequency band 700/800/900 MHz Sólo se instaló 1 antena.
4G modem + antenna	Equipo comercial		Se usan para acceder a internet, dado que el acceso desde la red interna del EA no es posible en el ensayo por temas de seguridad.
Test Equipment	Laptop or tablet		Mission video and audio traffic generation Transmission of tactical data messages using the JREAP protocol

3. COMPOSICIÓN DEL SISTEMA

A continuación se describen los principales componentes de demostrador, enfocándose en aquellos que habilitan la conectividad 5G aire-tierra.

3.1 Gestor de Comunicaciones Embarcado (ALIMS)

El Gestor de Comunicaciones consiste en un hardware ruggedizado y embarcable en avión con capacidad de procesamiento (GPM), enrutado (XRM) y switching (ERM) sobre el que se instala el software ALIMS (Aircraft Links Integration and management System).

El hardware posee un peso de 7kg y unas dimensiones de 124x228x208 mm. Se alimenta a 28VDC y posee un switch Ethernet interno con hasta 12 puertos. Se omite dar detalles técnicos del equipo por poder estar sujeto a restricciones de seguridad.



Figura 3. Ilustración del Gestor de Comunicaciones

3.2 Fan del Gestor de Comunicaciones

Equipo que proporciona los niveles de ventilación que requiere el Gestor de Comunicaciones para funcionar correctamente.

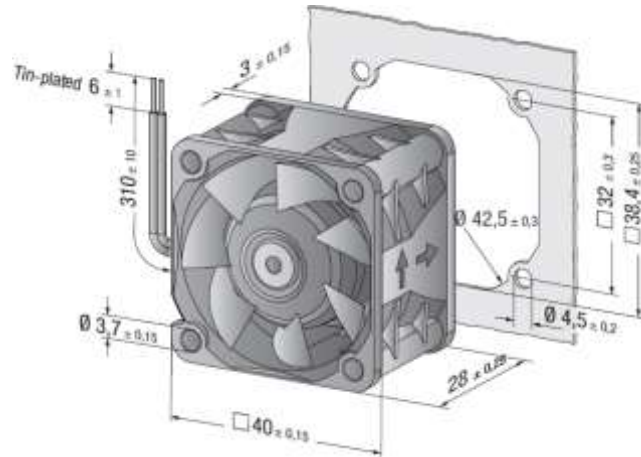


Figura 4. Plano de Instalación del Fan del Servidor de Comunicaciones

3.3 Modem 5G Embarcado (Aire)

Modelo Robustel. Proporciona hasta 4 canales de radiofrecuencia (se hace notar que en la demostración sólo se utilizó uno de esos canales). La forma de onda que genera cumple con 3GPP Rel.5

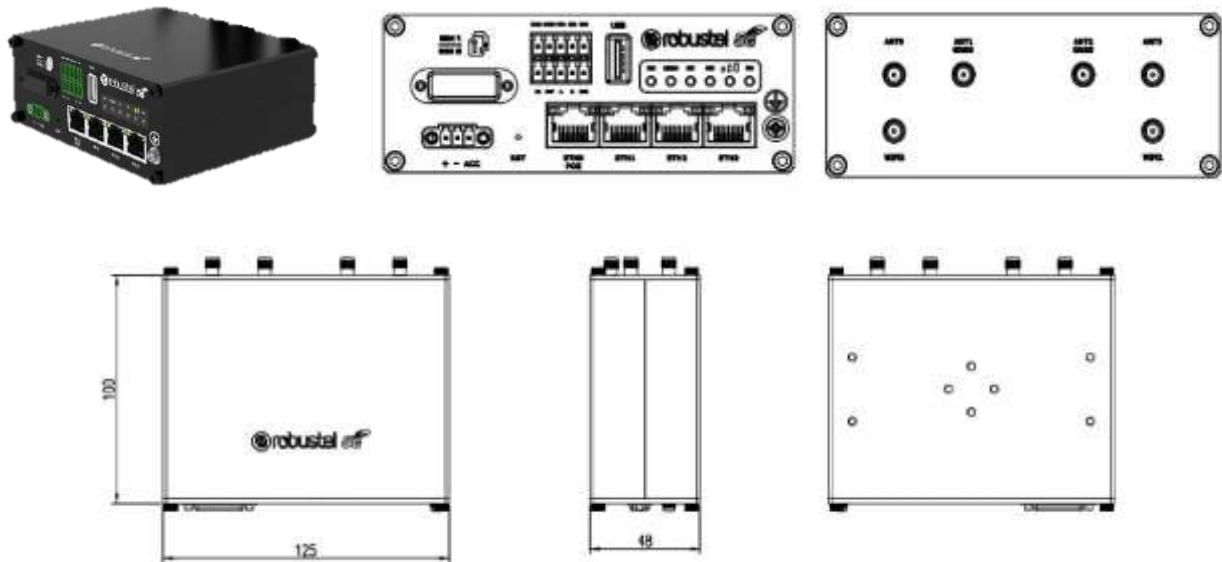


Figura 5. Plano de Instalación del modem 5G

Tabla 3: Características Físicas del Módem 5G embarcado (aire)

Physical Characteristic	Value
Frequency Range	5G band n28 (UL 703 -748 y DL 758-803 MHz)
Power Output	23 dBm
Weight	0.5 kg
Dimensions	125 x 100 x 48 mm

Power Consumption	1.8 A (peak) @12 V
--------------------------	--------------------

Tabla 4: Interfaces Físicas del Módem 5G embarcado (aire)

Physical Interface	Description
4x RF SMA (SMA-K)	5G Cellular interface
2x RF SMA (RP-SMA-K)	WiFi
2x RF SMA (SMA-K)	GNSS
4x Ethernet	Data / Configuration
2x Serial (1x RS232, 1x RS485)	Data / Configuration
1x Power Supply (3-pin 3.5 mm female socket with lock)	28 VDC 9 to 36V DC
1x Ground Screw	Grounding A/C
2x Discretes	N/A

3.4 Antena 5G Embarcada (Aire)

Considerando las siguientes bandas de frecuencias propuestas por la Entidad Colaboradora encargada de proveer la burbuja 5G que de cobertura a las aeronaves, se selecciona una antena blade omnidireccional de pequeño tamaño, diseñada para soportar el rango de frecuencias de 500 a 3000MHz. La antena soporta funcionalidad picocell en el avión, así como servicio aire-tierra externo.

- Band n28 UL 703-748 MHz and DL 758-803 MHz.
- Band n8 UL 880-915 MHz and DL 925-960 MHz.
- Band n20 UL 832-862 MHz and DL 791-821 MHz.

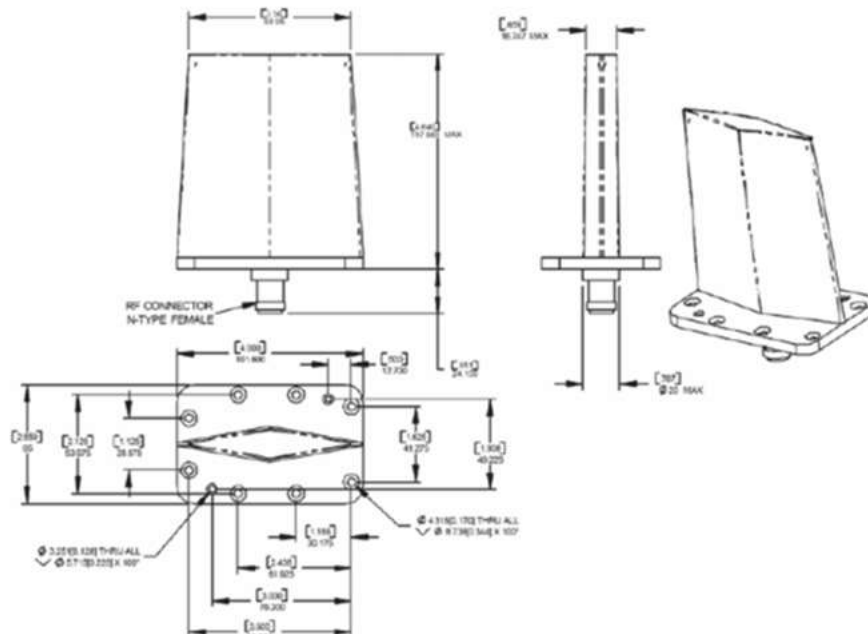




Figura 6. Plano de Instalación de la antena 5G

Tabla 5: Características Físicas y Electricas de la Antena 5G embarcada (aire)

Physical Characteristic	Value
Frequency Range	500 to 3000 MHz
Weight	0.255 kg
Dimensions	101.6 x 117.8 x 16.7 mm
Power Consumption	100 Watts CW

Tabla 5: Interfaces Físicas de la Antena 5G embarcada (aire)

Physical Interface	Description
N-Type Female	N/A

3.5 Gestor de Comunicaciones de Tierra (ALIMS)

El SW del Gestor de Comunicaciones (ALIMS) corre en una máquina virtual dentro de un equipo de laboratorio. Para la fase de demostración y ensayos, esta aplicación se implementó en una RaspBerri Pi.

3.6 Estación Base 5G (Tierra)

El equipamiento de la Estación Base 5G se instala en 3 cajas ruggedizadas con un peso de entre 70 y 90 kg cada una, con la siguiente composición:

- Caja 1: Power, rectifier. 98x72x56cm.
- Caja 2: Communications, servers. 104x58x41cm
- Caja 3: Baseband, RAN. 70x58x54cm.

El consumo aproximado del nodo para una macro antena de 700/800/900MHz es de 4 a 4,5KW.

3.7 Antena 5G (Tierra)

Se trata de una antena estándar de telefonía móvil de cobertura sectorial (60deg de haz).



Figura 7. Detalle de la Instalación de la antena 5G para el ensayo

4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

El Diseño de la instalación en el avión se realizó por una de las Empresas Colaboradoras, teniendo estrecha relación con las Maestranzas de Sevilla y Madrid para optimizar la instalación y posteriormente para llevar a cabo las pruebas funcionales del sistema.

Los principales requisitos que se imponen a la instalación del sistema son los siguientes:

1. Para instalar la antena 5G en el C295, usar la posición de la antena VUHF3 (spare) para evitar hacer agujeros al avión.
2. Los equipos instalados a bordo tienen que estar lo más cerca posible de la antena para evitar pérdidas en el cable RF.
3. Hacer un diseño modular que permita la fácil instalación y desinstalación en el avión minimizando el impacto en el mismo.

Con eso se decidió colocar todos los equipos sobre una bandeja fácilmente instalable sobre los railes del avión y/o helicóptero (en el caso de este último, por problemas de espacio, se redujo el tamaño de la bandeja y se le cambió la forma para que cupiese en el espacio libre en cabina)

A continuación, se muestran varios detalles del diseño de la instalación mecánica en el avión:

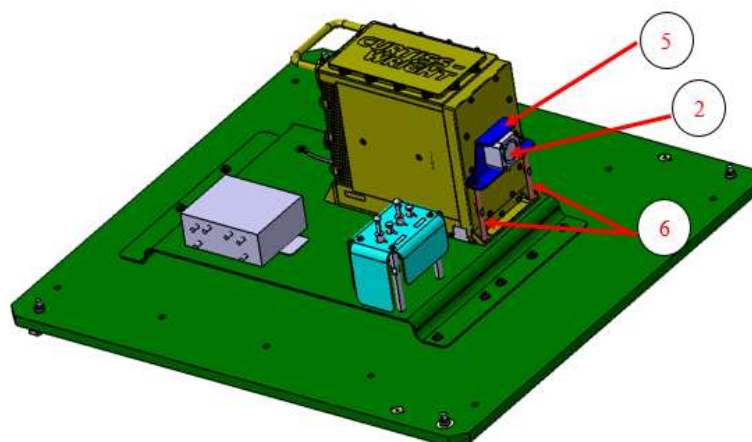
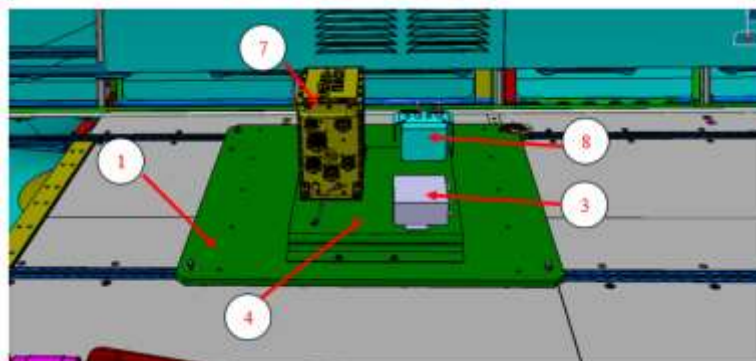


Figura 8. Detalle de la Instalación de los equipos a bordo

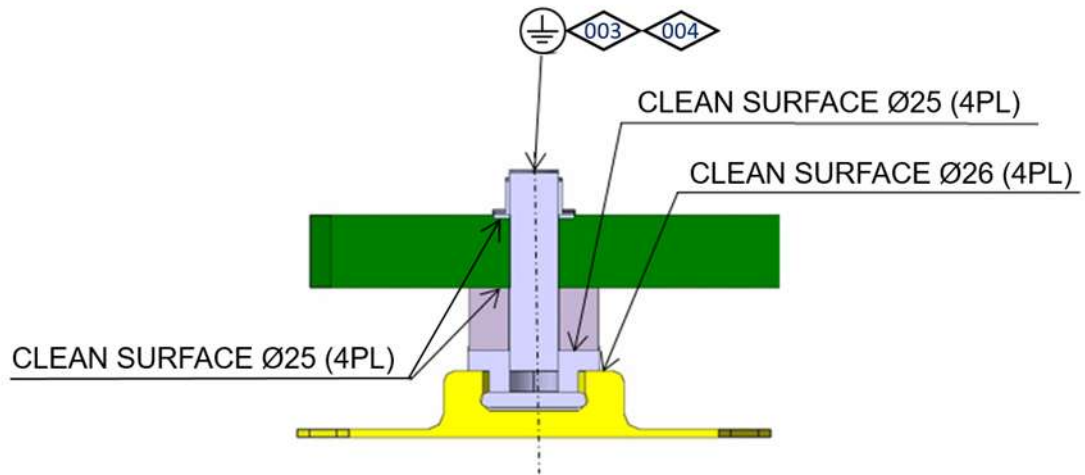
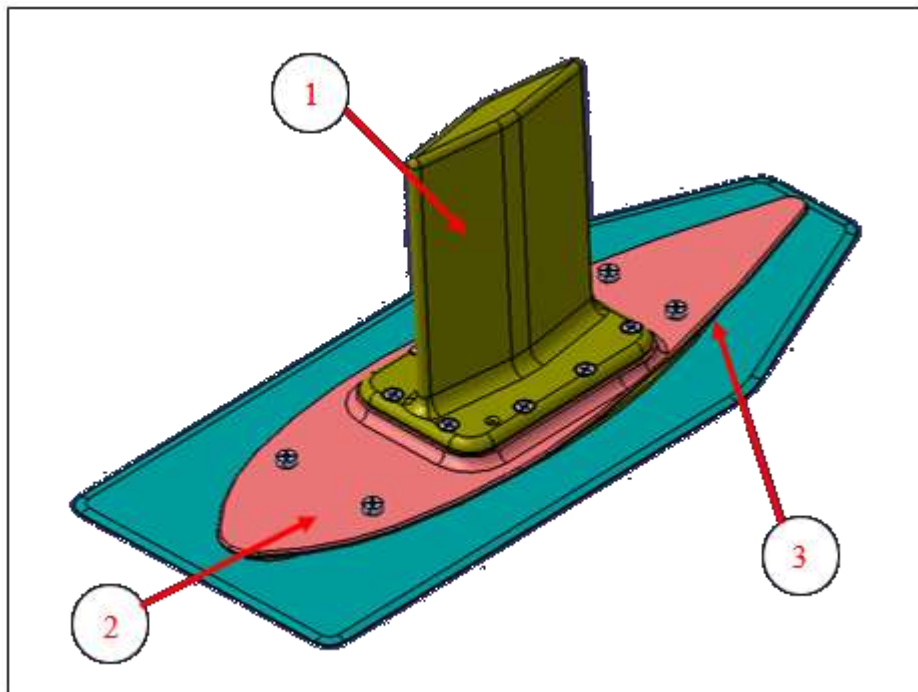


Figura 9. Detalle de las Instrucciones de Puesta a Tierra para la Instalación de la bandeja sobre el rail de carga.



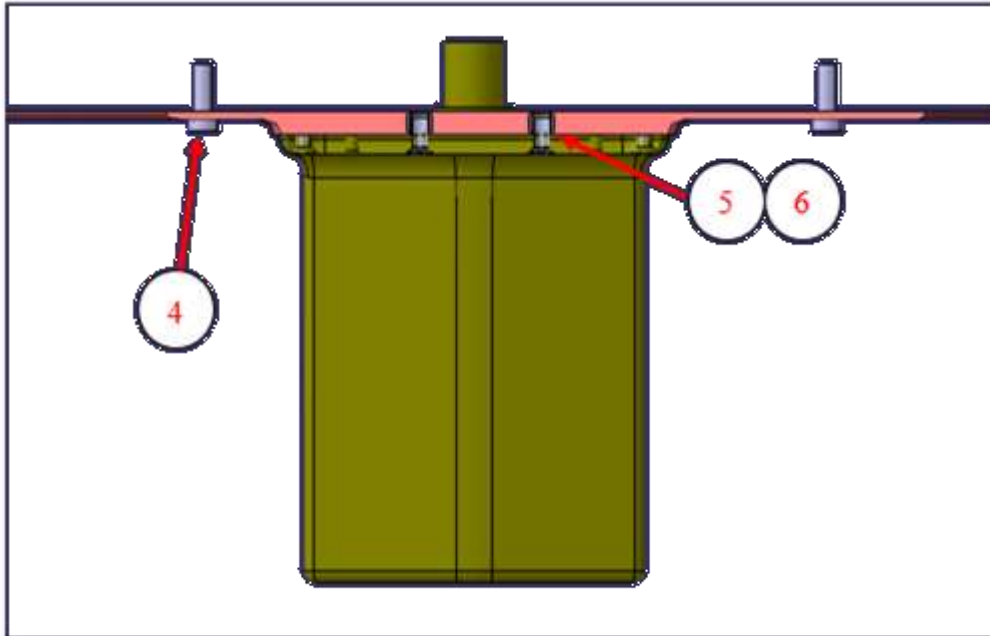


Figura 10. Detalle de la Instalación de la Antena 5G

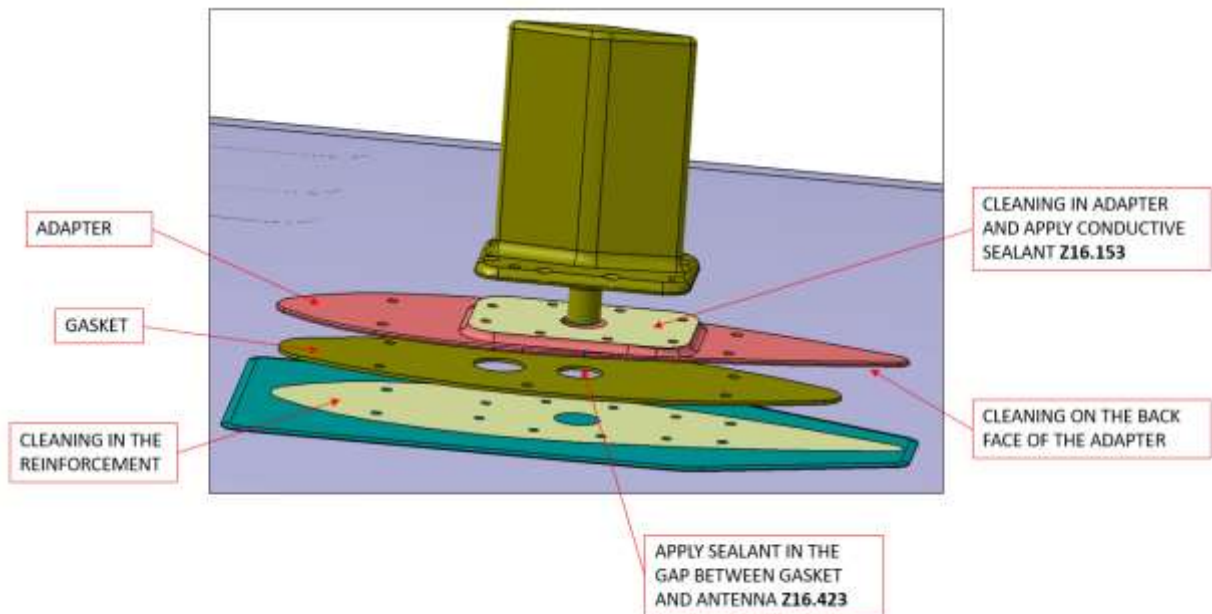


Figura 11. Detalle de la Aplicación del Sellante de la Antena 5G

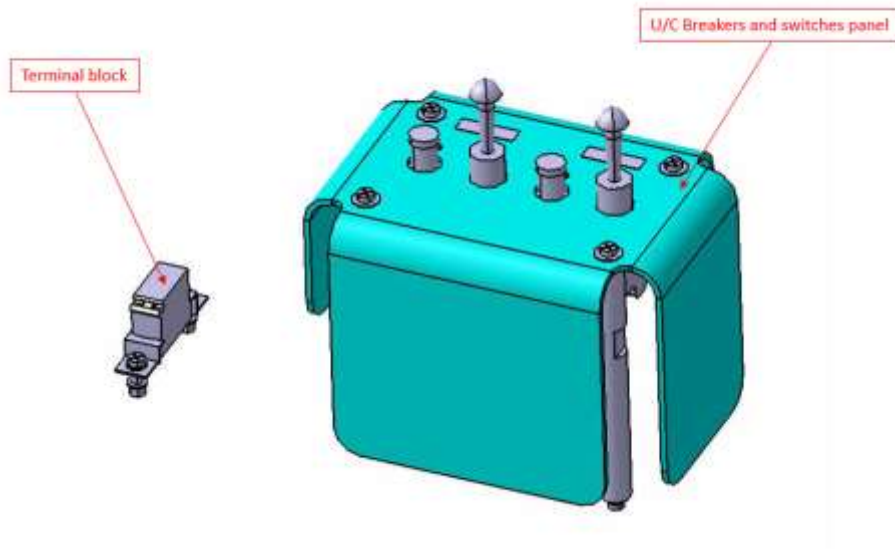


Figura 12. Unidad de Control



Figura 13. Imagen de la Instalación Final en el C295



Figura 14. Imagen de la Instalación Final en el NH90



Figura 15. Detalle de la instalación real de la antena en el NH90

4.1 Diagramas de Cableado Eléctrico

La Empresa Colaboradora proporciona a las Maestranzas (MAESE y MAEMA) unos Diagramas Esquemáticos de Cableado y una lista de partes de los conectores necesarios, así como los números de parte y galga del cableado a utilizar, para que ellos hagan la instalación física en el avión.

Respecto a los cables RF se dan unas recomendaciones de tipo de cable en función de la longitud final de la instalación real con la finalidad de minimizar las pérdidas RF entre los equipos embarcados y la antena por motivo del cable.

En la página siguiente se reproducen los diagramas esquemáticos de cableado:

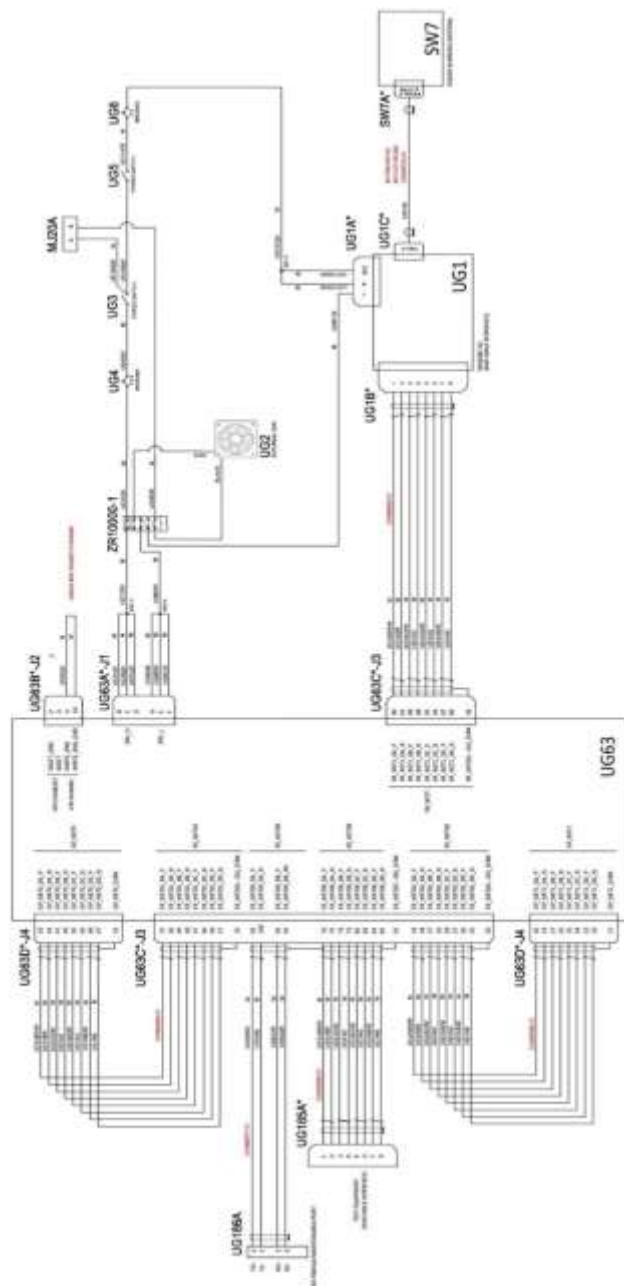


Figura 15. Diagramas Esquemáticos de Cableado

5. ENSAYOS EN LABORATORIO

La finalidad de los ensayos en laboratorio fue la de determinar la configuración final de los equipos a utilizar en la demo, incluyendo los equipos médicos a utilizar y el verificar el correcto funcionamiento de los mismos. Los ensayo en laboratorio fueron el primer contacto con los equipos de telemedicina de UMAER y fueron fundamentales para entender cómo funcionaban y cómo había que configurar los equipos, en particular el ALIMIS, para permitir una operación correcta

La figura siguiente muestra un detalle de la realización de los ensayos de laboratorio.

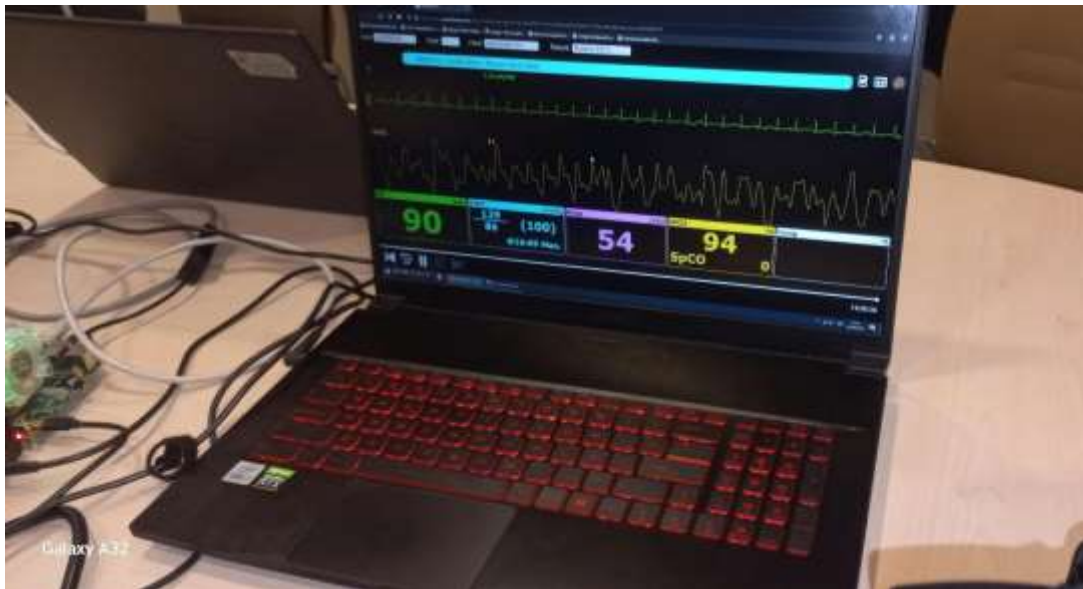


Figura 8. Detalle de los resultados Ensayo en Laboratorio

La figura de la página siguiente muestra la configuración de equipos que se probó en laboratorio con resultado satisfactorio, como se puede ver en la figura anterior.

Como resultado de los ensayos se consiguió determinar la configuración correcta de todos los equipos y acceder a los datos médicos del paciente desde un PC conectado a internet usando un modem 4G. *Nótese que el usar una conexión 4G para el acceso a internet se debe a la imposibilidad de acceder a través de la intranet de la Empresa Colaboradora.*



Figura 9. Configuración del Ensayo en Laboratorio

5. ENSAYOS EN TIERRA Y VUELO

Tras la realización de los ensayos en laboratorio se da soporte a las Maestranzas para la puesta a punto de la instalación, verificando el correcto estado y funcionamiento de todos los interfaces eléctricos. Para esto se comprueba la correcta configuración de todos los equipos embarcados y de soporte en tierra y se procede al acceso a una página web cualquiera desde el avión/helicóptero.

El siguiente paso sería la realización de la demostración en tierra, usando ya los equipos de telemedicina de UMAER conectados al sistema 5G embarcado y conectándose en tierra al servidor médico donde se vuelcan los datos.

Se comprueba que en tierra se puede establecer una conexión muy estable y que permite la monitorización en tiempo real del paciente transportado en el avión y/o en el helicóptero.

Se hace también con éxito una teleconferencia desde el C295 con el Hospital Gómez Ulla.



Figura 9. Momento de la realización de los ensayos en tierra

El siguiente paso sería la realización de los ensayos de interferencia y compatibilidad electromagnética (EMC por sus siglas en inglés) en el C295 y el NH90 por parte de personal



de Asistencia Técnica de MALOG, con soporte de personal de las Entidades Colaboradoras y de UMAER. Este tipo de prueba es fundamental para verificar que no existe ningún problema inducido por la instalación de los nuevos sistemas sobre los sistemas de avión críticos para el vuelo. Tras la verificación positiva se obtiene el Clearance para vuelo de ambas plataformas.

Los ensayos en tierra y vuelo se realizan los días entre los días 2 y 5 de octubre de 2023.



6. ESFUERZO

El esfuerzo realizado conjuntamente concentra en los siguientes conceptos:

- DEFINICIÓN DE LA INSTALACIÓN
 - Definición de los requisitos de instalación mecánica
 - Generación de los diagramas esquemáticos de cableado.
 - Generación de las listas de partes para aprovisionamiento
 - Replanteo de la instalación en base a la situación real del C295 y NH90
 - Fabricación de bandejas y soportado de chapa.
- DEFINICIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS.
- REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS EN LABORATORIO.
- REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS EN TIERRA Y EN VUELO.
- COSTE DE HARDWARE
 - ✓ 2xMódem 5G embarcado
 - ✓ 2xGestor de Comunicaciones Embarcado
 - ✓ 2xFan del Gestor de Comunicaciones
 - ✓ 2xUnidad de Control (soportado + switches + breakers)
 - ✓ 2xBandeja de instalación de equipos (basada en chapón para Flight Test Instrumentation)
 - ✓ 1xEstación Terrestre 5G
 - ✓ 1xGestor de Comunicaciones en Tierra
 - ✓ 1xPC monitorización en tierra
 - ✓ 1xAntena 5G terrestre
 - ✓ 1xMódem 4G
 - ✓ Cableado y Conectores necesarios
 - ✓ 1xEquipo Propaq
 - ✓ 1xMaleta Commitas
 - ✓ 1xSet de Cableado para pruebas (verificar correcto funcionamiento del sistema)
- Coste de Software. NO se utilizaron licencias de SW comercial, pero sí se utilizó el SW de desarrollo propio de una de las Entidades Colaboradoras, el ALIMIS.



7. CALENDARIO

El tiempo de estimado de duración del proyecto fue de aproximadamente 6 meses, desde el 1 de Mayo de 2023 hasta la presentación del proyecto en el Ejercicio BACSI el 18 de Octubre.

Se hace notar que los ensayos en tierra y en vuelo se realizaron con antelación al Ejercicio BACSI, entre los días 2 y 5 de Octubre de 2023, con el soporte y coordinación del Teniente Coronel Agustín Blasco de MALOG.

MAY	JUNE	JULY	AUGUST	SEPTEMBER	OCTOBER
INSTALLATION DESIGN (ADS)	INSTALLATION C295 (MAESE)		INSTALLATION NH90 (MAESMA)	CONFIG & LAB TESTING (ADS)	
			TEST PROC & PTF (SP AF)		
	GND FUNCTIONAL TESTING C295		GND TESTING (INCL C295 EMC)	GT & FT (BOTH PLATFORMS)	BACSI



8. RESULTADO Y CONCLUSIONES

La implementación del demostrador 5G embarcado permitió demostrar la capacidad de conexión de gran ancho de banda y bajo coste a través de una burbuja 5G privada.

El demostrador permitió demostrar la capacidad de telemedicina entre aviones y tierra. En particular se comprobó que la capacidad de acceso a los datos del paciente embarcado desde cualquier dispositivo autorizado con acceso a internet. También se demostró la capacidad de hacer videoconferencias entre el avión y tierra (Hospital Gomez Ulla) Además se comprobó que calidad de las imágenes/video transmitidos, así como la latencia de los datos médicos proporcionados al servidor eran aceptables y permitiría la asistencia remota de especialistas desde tierra para dar soporte a los médicos embarcados en las aeronaves.

Como contrapartida, mencionar que mientras que los resultados obtenidos en los ensayos en tierra (estáticos) fueron muy buenos, con conectividad muy estable y de gran calidad, en vuelo los resultados no fueron tan buenos. En el C295 se consiguieron conexiones de hasta 2 minutos a unos 3500 ft, 150kts y 12NM en el radial del lóbulo principal y haciendo hipódromos a 90 deg del mismo. En el NH90 la duración de las conexiones que se consiguieron fueron mucho peores.

Las principales causas para los resultados encontrados en vuelo se achacan a:

- Antena 5G en tierra: Se usó una única antena 5G en tierra, con cobertura sectorial, lo que hacía que el campo de cobertura fuese limitado. Además las antenas 5G terrestres comerciales están diseñadas para dar cobertura hacia el suelo, con lo que la cobertura en altura era limitada.
- Enmascaramiento de señal debido a maniobras de las aeronaves: Se usó una única antena a bordo, lo que limitaba la capacidad de recepción de señal cuando se hacía una maniobra para intentar mantenerse en el sector de cobertura de la antena en tierra. Hay que mencionar también que la antena embarcada no era una antena optimizada para 5G.

En el video anexoado "5g BACSI.mp4" se muestra un resumen del proyecto con videos reales tomados durante los ensayos.



9. IMPACTO EN LA DIGITALIZACIÓN DEL EJÉRCITO

El demostrador 5G embarcado ha permitido al Ejército del Aire y del Espacio comprobar si el 5G puede ser una opción real para dotar de conectividad de gran ancho de banda a las aeronaves y permitir capacidades de Telemedicina embarcada.

Los ensayos han demostrado la viabilidad y la adecuación de la tecnología 5G para el uso en Telemedicina (por la calidad de los datos recibidos y la baja latencia de los mismos).

La tecnología 5G además tiene la ventaja de ser muy asequible con lo que las posibilidades para aplicaciones que no requieran intercambio de información clasificada es muy grande. Se requiere seguir evolucionando la tecnología para conseguir certificaciones de seguridad que permitan el manejo de información clasificada.

Por otra parte, el Gestor de Comunicaciones (ALIMS) ha demostrado su potencia y versatilidad, siendo agnóstico del medio de comunicación que se utilice (5G y 4G en el caso de la demostración, pero también maneja actualmente Satcom, por ejemplo) El ALIMS es además muy potente para el manejo de varios sistemas de enlace de datos simultáneamente así como para la generación y gestión de redes privadas. Como parte de la demo también se hizo en tierra una demostración simulando un enlace táctico tipo JREAP (Link 16 sobre comunicaciones IP), demostrando la versatilidad del ALIMS en la gestión de las comunicaciones digitales (diferentes tipos de información y enlaces de datos), resultando muy interesante para el Ejército del Aire y del Espacio.