

NÚMERO DEL REPORTE		REPORTE DEL MES 2 (SEGUNDO REPORTE)			
NOMBRE DEL PROYECTO	ANÁLISIS TÉCNICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y MITIGACIÓN DE INTERFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES DE 3500 MHZ Y LOS RADIOALTÍMETROS DE LAS AERONAVES EN LAS BANDAS DE 4200 MHZ A 4400 MHz				
ENTIDAD CONTRATANTE	Agencia Nacional del Espectro				
ENTIDAD EJECUTORA	Universidad Pontificia Bolivariana				
FECHA DE INICIO	27/05/2023				
DURACIÓN	6 MESES				
FECHA REPORTE	30/06/2023				
OBJETO CONTRACTUAL	Aunar esfuerzos entre la Agencia Nacional del Espectro -ANE-y la Universidad Pontificia Bolivariana para llevar a cabo un estudio de coexistencia desde el ámbito técnico y jurídico entre los sistemas de radio de las redes IMT que operan en 3500MHz (3300 MHz -4200 MHz) y los sistemas de radio altímetros de las aeronaves que operan entre 4200 MHz a 4400 MHz.				
CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES	Ejecución de las actividades pactadas para el mes uno de ejecución del proyecto		10%		
Objetivos	Estudiar en términos técnicos, de gestión del espectro y jurídicos la coexistencia de los sistemas de radio que operan en 3500 MHz y los sistemas de altímetros que operan entre 4200 MHz a 4400 MHz.				
Especifico 1	Estudiar en términos técnicos, de gestión del espectro y jurídicos la coexistencia de los sistemas de radio que operan en 3500 MHz y los sistemas de altímetros que operan entre 4200 MHz a 4400 MHz.		20%		
Específico 2	Construir y entregar una base datos documental con las normas, procedimientos, recomendaciones y demás documentos relevantes expedidos por las administraciones internacionales de los casos similares alrededor del mundo		10%		
Específico 3	Proyectar las solicitudes de información que se propone a la Agencia Nacional del Espectro remitir, para recabar la información necesaria para dictar los lineamientos respectivos en la materia		0%		
Actividades Específicas					
	Levantamiento de requerimientos		100%		
	Reunión Inicial		100%		
	Reunión de verificación de requerimientos con la ANE		100%		



Leonardo Betancur Agudelo
C.C. 75'096.698
Investigador Principal

Resumen ejecutivo:

El presente documento constituye las evidencias del desarrollo del trabajo titulado “ANÁLISIS TÉCNICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y MITIGACIÓN DE INTERFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES DE 3500 MHZ Y LOS RADIOALTÍMETROS DE LAS AERONAVES EN LAS BANDAS DE 4200 MHZ A 4400 MHZ ” desarrollado bajo el convenio 109 del 2023 con la Agencia Nacional del Espectro, se advierte que el informe es de tipo preliminar, se encuentra bajo construcción y se está construyendo para ser insumo en el reporte final para la Agencia, la finalidad del presente reporte es solamente de seguimiento de actividades del proyecto y está abierto a cambios y correcciones continuas en el proceso de mejora y ejecución del proyecto, en el presente documento se muestra el estado del arte y la información recopilada del objeto de la investigación y se tienen algunos apartes incipientes que se están por desarrollar en el proyecto, se denota (EN CONSTRUCCIÓN PARA EL SIGUIENTE INFORME) a las secciones que ya se han empezado a avanzar de las actividades del cronograma que se han empezado a ejecutar.

Equipo de Trabajo:

HERBERT RAFAEL BOTERO BOTERO

JERÓNIMO ECHEVERRI VASQUEZ

JUAN ESTEBAN GALEANO

OSCAR MARTÍN GONZALEZ

JAIME ANDRÉS PLAZA

LEONARDO BETANCUR AGUDELO

Universidad Pontificia Bolivariana

Medellín, 30 de junio de 2023

I. ANÁLISIS NORMATIVO Y LEGISLATIVO

INTRODUCCIÓN

El 7 de diciembre de 2021 la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos informó que había emitido dos directivas de aeronavegabilidad para proporcionar un marco de colaboración entre la industria aeronáutica, la Comisión Federal de Comunicaciones y la industria de las telecomunicaciones, para recopilar más información que permitiera evitar posibles afectaciones a la seguridad de la aviación derivada de la operación de redes 5G en las cercanías de los aeropuertos.

Posteriormente, el 23 de diciembre de 2021 la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos anunció que estaba trabajando conjuntamente con la industria de las telecomunicaciones y la aviación para encontrar una solución que permita la coexistencia segura de las emisiones de IMT en banda C (3500 MHz) y los instrumentos de medición de las aeronaves que funcionan en la banda de 4200 MHz a 4400 MHz. Se emitió una noticia para las operaciones aéreas (NOTAM) para restringir las operaciones en áreas donde es posible la interferencia entre dichos servicios.¹ La siguiente imagen ilustra el fenómeno:

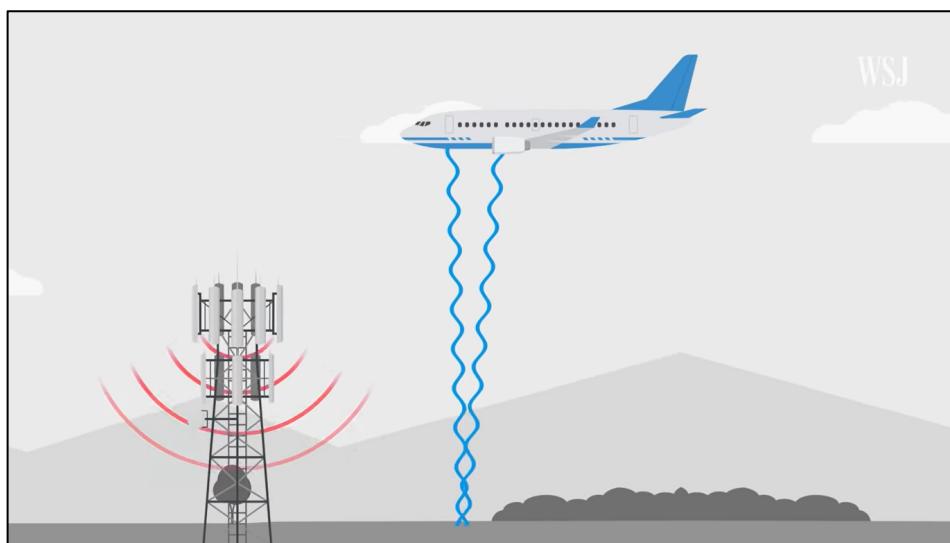


Ilustración 1 Posible interrelación redes IMT 3500 MHz y radioaltímetro

Dado que Colombia piensa asignar la banda de espectro de 3500 MHz para el uso de 5G² en el corto plazo y que nuestro país usa la banda de 4200 MHz a 4400 MHz para el funcionamiento de los radio

¹ Federal Aviation Administration. 5G and Aviation Safety. Consultado el 20/10/2022. Disponible en: <https://www.faa.gov/5g>

² Subasta 5G en Colombia se adjudicará el 20 de diciembre (mintic.gov.co)

altímetros en el sistema de aeronavegación, esta propuesta de investigación propone un análisis completo de las posibles interferencias entre los sistemas de radio de la banda de 3500 MHz y los sistemas de radio altímetros de las bandas de 4200 MHz a 4400 MHz. El análisis propuesto se centra en tres ejes fundamentales: el técnico, el de gestión del espectro y el jurídico.

Al respecto se podrá acudir a diversos recursos documentales, entre los que se cuentan:

- SAIB: AIR-21-18R1 - Special Airworthiness Information Bulletin on the Risk of Potential Adverse Effects on Radio Altimeters
- SAFO 21007 - Safety Alert for Operators on Risk of Potential Adverse Effects on Radio Altimeters when Operating in the Presence of 5G C-Band Interference
https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/other_visit/aviation_industry/airline_operators/airline_safety/SAFO21007.pdf
- AD 2021-23-12 - Airworthiness Directive on altimeter interference and airplanes
https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-12/FRC_Document_AD-2021-01169-T-D.pdf
- AD 2021-23-13 - Airworthiness Directive on altimeter interference and helicopters
https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-12/FRC_Document_AD-2021-01170-R-D.pdf
- DOT Letter to NTIA re: FCC3.7 GHz Band Auction
https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-10/DOT_Letter_to_NTIA_FCC3.7_GHz_Band_Auction.pdf
- FAAS AIBAIR-21-185
- ANNEXQ&A18_2_22

En el aspecto técnico se elaborará un estudio de las características técnicas de cada una de las bandas y usos a estudiar (sistemas de radio de 3500 MHz y los sistemas de altímetros de 4200 MHz a 4400 MHz), determinando los tipos de emisión, anchos de banda, ocupación del espectro, propagación, características típicas de diseño e impacto sobre los actores involucrados de las bandas de operación, escenarios de interferencia, coexistencia y migración tecnológica a la cual se enfrentan las dos tecnologías con sus respectivas frecuencias de operación dentro de la banda. De igual forma se propondrán recomendaciones orientadas a la mitigación de interferencias. En los aspectos regulatorio y jurídico, se elaborará un estudio y análisis de las diferentes iniciativas en el mundo respecto del uso, asignación y ruta de adopción de las tecnologías en las bandas de interés, desarrollando un documento base que le permita a la Agencia Nacional del Espectro tener elementos de juicio de diferente naturaleza para determinar las mejores alternativas de reducción de las interferencias, adopción y migración tecnológica de acuerdo con el contexto nacional e internacional.

En Colombia y en concordancia con lo dispuesto en la nota CLM 21 del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia Vigente, la banda comprendida entre 3300 MHz y 3700 MHz fue reservada para la futura operación de redes IMT y se encuentra atribuida actualmente así:

Unidad	Región 2	Colombia	Notas nacionales
MHz	3300 - 3400 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Fijo Móvil 5.149 5.429C 5.429D	3300 - 3400 MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Fijo 5.149 5.429C 5.429D	CLM 3 CLM 7 CLM 21 CLM 24
MHz	3400 - 3500 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431A 5.431B FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Aficionados Radiolocalización 5.433 5.282	3400 - 3500 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431A 5.431B Aficionados 5.282	CLM 3 CLM 7 CLM 21 CLM 24
MHz	3500 - 3600 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431B FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Radiolocalización 5.433	3500 - 3600 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431B	CLM 3 CLM 21 CLM 24
MHz	3600 - 3700 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.434 FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Radiolocalización 5.433	3600 - 3700 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.434	CLM 3 CLM 21 CLM 24

Por su parte y en concordancia con lo dispuesto en las notas nacionales CLM 3 y CLM 4 y la nota internacional 5.438 la banda comprendida entre 4200 MHz y 4400 MHz se encuentra atribuida actualmente así:

Unidad	Región 2	Colombia	Notas nacionales
MHz	4200 - 4400 MÓVIL AERONÁUTICO (R) 5.436 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.439 5.440	4200 - 4400 MÓVIL AERONÁUTICO (R) 5.436 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.439 5.440	CLM 3 CLM 4 CLM 24

Además de las normas referidas se debe tener presente la particularidad de la gestión del espectro destinado para los servicios Móvil Aeronáutico (R), Navegación Aeronáutica, Radionavegación Aeronáutica; Móvil Aeronáutico; Móvil Aeronáutico por Satélite; Radionavegación por Satélite;

Móvil Aeronáutico (R) por Satélite; Móvil Aeronáutico por Satélite (Tierra-espacio), cuyo uso se da mediante delegación, con fundamento en el artículos 33 de la Resolución MinTIC 964 de 2019 que asigna a la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil) la competencia para la administración, gestión y control del uso de las bandas de frecuencias atribuidas a dichos servicios.³

De igual forma se debe tener presente lo establecido en el artículo 34 de la misma Resolución, el cual impone el deber de coordinación entre la Agencia Nacional del Espectro, la Aerocivil y el Ministerio TIC cuando se trate la regulación del espectro radioeléctrico para navegación aérea.⁴

También se debe tener presente lo dispuesto en el artículo 11 de la Ley 1341 de 2009, en el cual se impone el deber de que los permisos de uso de espectro no generen interferencias sobre otros servicios, sean compatibles con las tendencias internacionales del mercado, no afecten la seguridad nacional, y contribuyan al desarrollo sostenible.

Esta discusión se da en el marco del crecimiento, casi exponencial, del tráfico de Internet, la necesidad de cerrar la brecha digital (para lo cual van a jugar un rol fundamental las tecnologías de acceso fijo inalámbrico) y la inminente asignación en Colombia de la banda de 3500 MHz, la cual, al haber sido estandarizada por la 3GPP, tiene el potencial para ser utilizada por diversas tecnologías que se pueden agrupar bajo IMT avanzado o IMT 2020, entre otros.

En síntesis, se puede definir en la pregunta de investigación: Desde el punto de vista jurídico, regulatorio y técnico, ¿El despliegue de redes IMT en la banda de 3500 MHz comporta un riesgo para la seguridad de la aeronavegación en Colombia?

METODOLOGÍA

Una metodología ampliamente reconocida a nivel internacional para el estudio y selección de medidas regulatorias es el *Regulatory Impact Analysis – RIA* (Renda, 2014). Esta metodología destaca 6 fases, las cuales son: 1) Definición del problema, 2) Identificación de opciones de regulación, 3) Recolección de datos, 4) Evaluación de alternativas, 5) Identificación de la política preferible y 6) Definición de estrategias para el monitoreo y evaluación de las políticas a lo largo del tiempo.

³ Artículo 33. Competencia de la aerocivil. Los aspectos técnicos y operacionales vinculados al uso especializado del espectro radioeléctrico en materia de navegación aérea, taxativamente lo atinente a: Móvil Aeronáutico (R), Navegación Aeronáutica, Radionavegación Aeronáutica; Móvil Aeronáutico; Móvil Aeronáutico por Satélite; Radionavegación por Satélite; Móvil Aeronáutico (R) por Satélite; Móvil Aeronáutico por Satélite (Tierra-espacio), seguirán rigiéndose por las normas y trámites establecidos para el efecto por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil), en especial lo previsto en el Decreto número 260 de 2004 y las normas que lo modifiquen, deroguen o subroguen, y sin perjuicio de las competencias de la Agencia Nacional del Espectro.

⁴ Artículo 34. Coordinación entre entidades. La Aerocivil, la ANE y el Ministerio de Tic, en desarrollo del principio de coordinación administrativa, coordinarán los aspectos pertinentes en lo relacionado con el espectro radioeléctrico para navegación aérea, en el marco de sus respectivas competencias.

Para el desarrollo de estas fases, se adoptarán herramientas y métodos que hacen parte de la prospección tecnológica como lo son: arboles temáticos, priorización de variables, consulta a expertos, además de la utilización de la Vigilancia Tecnológica, con el fin de construir y analizar problemas estructurados.

La Vigilancia Tecnológica (VT) es una de las herramientas de prospección tecnológica que se utilizarán en el proyecto. Según Morcillo (2003), la VT se define como el proceso de obtención, análisis, validación y difusión de información de valor estratégico, la cual se transmite a los responsables en una organización para la toma de decisión en el momento adecuado, partiendo fundamentalmente de la identificación del problema a analizar, determinando los objetivos de Vigilancia, que conllevan a la determinación de las fuentes de información para poder captarla. Han sido diversas las metodologías propuestas por diferentes autores, entre ellos: Castellanos et al, (2005); Sánchez y Palop (2002), AENOR (2006), entre otros. La metodología adoptada para el desarrollo del presente proyecto de investigación es la planteada por Tamayo (2010) sobre el ciclo de VT e IC, el cual se describe a continuación:



Ilustración 2 Metodología de Análisis

1. **Planeación:** la etapa de planeación comprende la identificación de necesidades y la identificación de fuentes de información. Se identifican las preguntas sobre las cuales se quiere dar respuesta ante los pocos o incipientes modelos de regulación en clave del contexto colombiano.
Para la identificación de necesidades se llevarán a cabo la revisión de estudios previos, tanto a nivel mundial como en el contexto específico de Colombia y el diligenciamiento de las Fichas Factores Críticos de Vigilancia y Ficha Identificación de Necesidades.
2. **Búsqueda y captación:** El objetivo de esta etapa es la identificación y determinación de los recursos necesarios como bases de datos de artículos científicos, buscadores de información, expertos entre otros. Se realizará la búsqueda de información en las fuentes identificadas por los expertos y se recolectará la información más importante.
3. **Análisis:** La información recolectada será analizada utilizando métodos estadísticos descriptivos. El objetivo de esta etapa es analizar, tratar y almacenar la información. Para esta etapa se utilizará un software para el tratamiento y análisis de la información. Adicionalmente, se recurrirá a bases de patentes ya sean gratuitas como la de la OMPI o de bases con suscripción como Delphion.
4. **Inteligencia:** Sobre el análisis estadístico se identifican tendencias nacionales e internacionales, capacidades, fortalezas y amenazas, además se identificarán los temas en el cual la comunidad científica enfoca sus desarrollos. El objetivo de esta etapa es dar valor a la información para buscar incidir en la toma de decisiones de

la Organización. Para cumplir este objetivo se requiere que la información cumpla su proceso de transformación, desde la captura de datos hasta la identificación y valoración de las implicaciones de los resultados de la búsqueda.

5. Validación de resultados: Aunque la validación puede ser un factor contenido dentro de la inteligencia, se realizarán validaciones con los consultores del proyecto.
6. Comunicación: El objetivo de esta etapa es la distribución de la información a las partes interesadas.

AVANCES ACTUALES

COMPARACIÓN DE LA ATRIBUCIÓN DE LA BANDA DE 3.5GHZ Y 4.2GHZ EN DIFERENTES PAÍSES

Acorde con el Reglamento de Radiocomunicaciones⁵ la atribución de la banda comprendida entre 3300 MHz - 3700 MHz y 4200 MHz - 4400 MHz en las diferentes regiones UIT es la siguiente:

3 100-3 300 RADIOLOCALIZACIÓN Exploración de la Tierra por satélite (activo) Investigación espacial (activo) 5.149 5.428	RADIOLOCALIZACIÓN	
3 300-3 400 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Fijo Móvil 5.149 5.429 5.429A 5.429B 5.430	3 300-3 400 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Fijo Móvil 5.149 5.429C 5.429D	3 300-3 400 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 5.149 5.429 5.429E 5.429F
3 400-3 600 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.430A Radiolocalización 5.431	3 400-3 500 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431A 5.431B Aficionado Radiolocalización 5.433 5.282	3 400-3 500 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Aficionado Móvil 5.432 5.432B Radiolocalización 5.433 5.282 5.432A
	3 500-3 600 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431B Radiolocalización 5.433	3 500-3 600 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.433A Radiolocalización 5.433

⁵ Unión Internacional de Telecomunicaciones, “Reglamento de radiocomunicaciones 2020” (2020).

Atribución a los servicios		
Región 1	Región 2	Región 3
3 600-4 200 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Móvil	3 600-3 700 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.434 Radiolocalización 5.433	3 600-3 700 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización 5.435
	3 700-4 200 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico	
4 200-4 400	MÓVIL AERONÁUTICO (R) 5.436 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.439 5.440	

COLOMBIA

En Colombia y en concordancia con lo dispuesto en la nota CLM 21 del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia Vigente, la banda comprendida entre 3300 MHz y 3700 MHz fue reservada para la futura operación de redes IMT y se encuentra atribuida actualmente así:

Unidad	Región 2	Colombia	Notas nacionales
MHz	3300 - 3400 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Fijo Móvil 5.149 5.429C 5.429D	3300 - 3400 MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Fijo 5.149 5.429C 5.429D	CLM 3 CLM 7 CLM 21 CLM 24
MHz	3400 - 3500 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431A 5.431B FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Aficionados Radiolocalización 5.433 5.282	3400 - 3500 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431A 5.431B Aficionados 5.282	CLM 3 CLM 7 CLM 21 CLM 24
MHz	3500 - 3600 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431B FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Radiolocalización 5.433	3500 - 3600 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431B	CLM 3 CLM 21 CLM 24
MHz	3600 - 3700 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.434 FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Radiolocalización 5.433	3600 - 3700 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.434	CLM 3 CLM 21 CLM 24

Por su parte y en concordancia con lo dispuesto en las notas nacionales CLM 3 y CLM 4 y la nota internacional 5.438 la banda comprendida entre 4200 MHz y 4400 MHz se encuentra atribuida actualmente así:

Unidad	Región 2	Colombia	Notas nacionales
MHz	4200 - 4400 MÓVIL AERONÁUTICO (R) 5.436 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.439 5.440	4200 - 4400 MÓVIL AERONÁUTICO (R) 5.436 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.439 5.440	CLM 3 CLM 4 CLM 24

UNIÓN EUROPEA – ESPAÑA

Si bien a nivel europeo existe coordinación en cuanto a la gestión del espectro se refiere, no existe un cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia con efectos sobre todos los países y en consecuencia, la investigación se debe realizar país por país. En consecuencia, el Cuadro Nacional de Atribución de bandas de Frecuencia de España⁶ establece la siguiente atribución para el rango de frecuencias comprendido entre 3300 MHz y 4400 MHz:

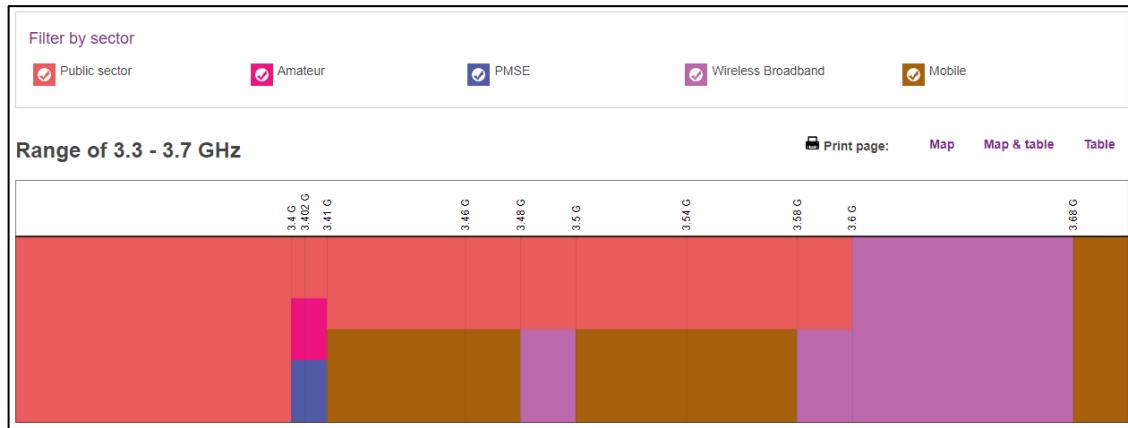
ATRIBUCIÓN NACIONAL	USOS	OBSERVACIONES
3300 - 3400 RADIOLOCALIZACIÓN	M	5.149 UN-53, UN-154, UN-161
3400 - 3600 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	M M M R	5.430A UN-107, UN-154 UN-161, UN-168 Sistemas terrenales capaces de prestar servicios de comunicaciones electrónicas (3400-3600 MHz)

⁶ España Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, “Orden ETD/1449/2021, de 16 de diciembre, por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias” (2021).

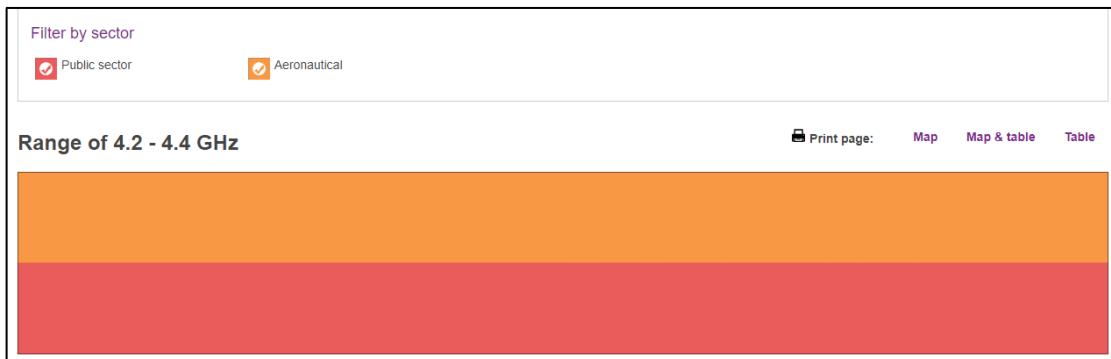
3600 - 4200 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Móvil	M M M	UN - 55 RADIOENLACES DE ACUERDO CON CANALIZACIÓN UIT-R UN-107, UN-154 UN-161, UN-168 Sistemas terrenales capaces de prestar servicios de comunicaciones electrónicas (3600-3800 MHz)
4200 - 4400 MÓVIL AERONÁUTICO (R) RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	R R	5.436 5.438 5.440 UN-154, UN-161

REINO UNIDO

La herramienta de consulta dispuesta por Ofcom⁷ muestra que la banda comprendida entre 3300 MHz - 3700 MHz se encuentra atribuida así:

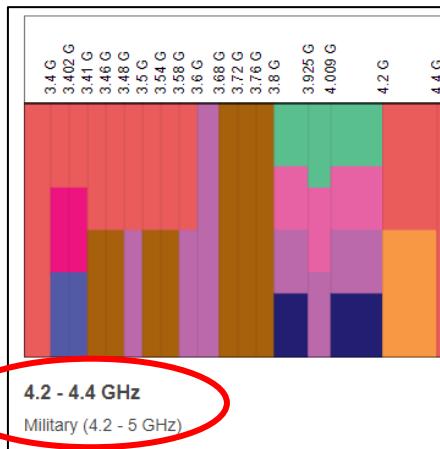


Igualmente, muestra que para la banda comprendida entre 4200 MHz - 4400 MHz la atribución es la siguiente:



⁷ Ofcom. Disponible en: <http://static.ofcom.org.uk/static/spectrum/map.html#>

Nótese como al analizar el cuadro general de la banda se obtiene que la atribución al sector público es referida como militar:



Por último, en la misma página se refiere que la asignación de la banda es la siguiente:

<input checked="" type="checkbox"/> Public sector	<input checked="" type="checkbox"/> Amateur	<input checked="" type="checkbox"/> PMSE	<input checked="" type="checkbox"/> Wireless Broadband	<input checked="" type="checkbox"/> Mobile
Frequency	Sector	Product name		
2.9 - 3.6 GHz	Public sector	Military		
3.1 - 3.402 GHz	Public sector	Business Radio (Police and Fire)		
3.4 - 3.41 GHz	Amateur	Amateur Radio Full Licence		
3.4 - 3.41 GHz	Amateur	Amateur Radio Intermediate Licence		
3.4 - 3.41 GHz	PMSE	Programme Making and Special Events (Fixed Site)		
3.41 - 3.46 GHz	Mobile	Spectrum Access Vodafone		
3.46 - 3.48 GHz	Mobile	Spectrum Access Hutchison 3G		
3.48 - 3.5 GHz	Wireless Broadband	Spectrum Access UK Broadband		
3.5 - 3.54 GHz	Mobile	Spectrum Access Telefonica		
3.54 - 3.58 GHz	Mobile	Spectrum Access EE		
3.58 - 3.6 GHz	Wireless Broadband	Spectrum Access UK Broadband		
3.6 - 3.68 GHz	Wireless Broadband	Spectrum Access UK Broadband		
3.68 - 3.72 GHz	Mobile	Spectrum Access EE		

CHILE

El Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico de Chile⁸ establece lo siguiente respecto a esta banda:

139A. Las asignaciones en la banda 3400 - 3500 MHz al servicio MÓVIL salvo móvil aeronáutico deberán coordinarse internacionalmente, teniéndose presente lo establecido en el número 9.21 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y en el Cuadro 21-4 del citado Reglamento (Edición de 2004).140. La utilización de la banda 4200 - 4400 MHz por el servicio de radionavegación aeronáutico se reserva exclusivamente a los radio altímetros instalados a bordo de aeronaves y a los respondedores asociados instalados en tierra.

Sin embargo, puede autorizarse en esta banda, a título secundario, la detección pasiva en los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de investigación espacial (los radio altímetros no proporcionarán protección alguna).

Se debe considerar también que la atribución del segmento comprendido entre 3300 MHz y 3400 MHz fue recientemente modificada,⁹ así:

1.4 La banda 3300 – 3400 MHz, por la siguiente:

“3300 – 3400	MÓVIL salvo móvil aeronáutico	(41)
	RADIOLOCALIZACION	
	Aficionados	
	Fijo”	

Por último, es de agregar que el Gobierno chileno llevó a cabo la consulta de *Reordenamiento de Espectro Radioeléctrico en la banda 3.400 – 3.600 MHz (22 de diciembre de 2021)*, la cual se puede consultar en esta dirección: https://www.subtel.gob.cl/wp-content/uploads/2021/12/Consulta_Publica_Reordenamiento.pdf

En dicha consulta se precisa que la banda comprendida entre 3400 MHz y 3600 MHz se encontraba en su momento completamente asignada a operadores móviles, así:

⁸ Chile Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, “Decreto Supremo 127 de 2006 aprueba plan general de uso del espectro radioeléctrico” (Chile, 2006).

⁹ Chile Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, “Decreto Supremo 192 de 2023 modifica decreto supremo n° 127, de 2006, del ministerio de transportes y telecomunicaciones, que aprueba el plan general de uso del espectro radioeléctrico” (Chile, 2023).

Banda en MHz	Concesionario	Observación
3400 – 3425	Entel	Originalmente asignada a Entel en concurso regional
3425 – 3440	Claro	Recientemente adquirida a Entel
3440 – 3450	-	Devuelto
3450 – 3475	VTR Telefónica del Sur	Regiones de Arica y Parinacota hasta La Araucanía Regiones de Los Ríos y Los Lagos. Libre en regiones de Aysén y Magallanes
3475 – 3495	Claro	Originalmente asignada en concurso nacional al predecesor de Claro.
3495 – 3500	-	Devuelto
3500 – 3525	Entel	Originalmente asignada a Entel en concurso regional
3525 – 3540	Claro	Recientemente adquirida a Entel
3540 – 3550	-	Devuelto
3550 - 3575	VTR Telefónica del Sur	Regiones de Arica y Parinacota hasta La Araucanía Regiones de Los Ríos y Los Lagos. Libre en regiones de Aysén y Magallanes
3575 – 3585	Claro	Originalmente asignada en concurso nacional al predecesor de Claro.
3585 – 3600	-	Devuelto

FRANCIA

Atribución de la Banda 3.4 – 4.4 GHz en Francia

1) Cuadro de Atribución de la Banda 3.4 – 4.4 GHz en Francia

(El Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias de Francia puede consultarse en el siguiente enlace:

https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/tnbrf/20230216_TNRF/TNRF_2023-02-16t.pdf

(Nota: ARCEP ha autorizado pruebas experimentales para 5G en la banda de 3.8 – 4.0 GHz, según puede analizarse en los siguientes enlaces: <https://en.arcep.fr/news/press-releases/view/n/5g-191222.html> y <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/experimentations-5g-en-france/tableau-de-bord-des-experimentations-5g-en-france.html>)

2) Notas al Cuadro de Atribución de la Banda 3.4 – 4.4 GHz en Francia (para Región 1 (Francia “metropolitana”), sin considerar Región 2 y Región 3 en territorios de ultramar):

5.430A La atribución de la banda de frecuencias 3400-3600 MHz al servicio móvil, excepto móvil aeronáutico, no está sujeta al acuerdo obtenido en virtud del numeral 9.21. Esta banda de frecuencias está identificada para las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT). Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está atribuida y no establece ninguna prioridad en el Reglamento de Radiocomunicaciones. Las disposiciones de los numerales 9.17 y 9.18 también se aplican durante la fase de coordinación. Antes de poner en servicio una estación (de base o móvil) del servicio móvil en esta banda de frecuencias, una administración se asegurará de que la densidad de flujo de potencia producida a 3 m por encima del suelo no exceda de -154,5 dB(W/(m² × 4 kHz)) durante más del 20% del tiempo en la frontera del territorio del país de cualquier otra administración. Este límite podrá superarse en el territorio de cualquier país cuya administración haya dado su acuerdo. Para garantizar que se respeta el límite de densidad de flujo de potencia en la frontera del territorio del país de cualquier otra administración, los cálculos y la verificación se llevarán a cabo, teniendo en cuenta toda la información pertinente, con el acuerdo mutuo de las dos administraciones (la administración responsable de la estación terrenal y la administración responsable de la estación terrena) y con la asistencia de la Oficina si así se solicita. En caso de desacuerdo, los cálculos y la verificación de la densidad de flujo de potencia serán efectuados por la Oficina, teniendo en cuenta la información antes mencionada. Las estaciones del servicio móvil en la banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz no podrán reclamar una mayor protección frente a las estaciones espaciales que la concedida en la Tabla 21-4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (Edición de 2004). (CMR-15)

F88a De conformidad con la Decisión 2008/411/CE de 21 de mayo de 2008 modificada, la banda de frecuencias 3 400–3 800 MHz está designada para sistemas terrenales capaces de prestar servicios de comunicaciones electrónicas.

5.436 El uso de la banda de frecuencias 4 200–4 400 MHz por estaciones del servicio móvil aeronáutico (R) está reservado exclusivamente para sistemas de radiocomunicación entre equipos de aviónica a bordo de una aeronave operada de conformidad con normas aeronáuticas internacionales reconocidas. Este uso debe ajustarse a la Resolución 424 (CMR-15). (CMR-15)

5.437 La detección pasiva para los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de investigación espacial puede permitirse en la banda de frecuencias 4200-4400 MHz a título secundario. (CMR-15)

5.438 La utilización de la banda de frecuencias 4 200-4 400 MHz por el servicio de radionavegación aeronáutica está reservada exclusivamente a los radio altímetros instalados a bordo de las aeronaves y a los transpondedores terrestres asociados. (CMR-15)

5.440 El servicio por satélite de frecuencias patrón y señales horarias puede ser autorizado a utilizar la frecuencia 4 202 MHz para las transmisiones espacio-Tierra y la frecuencia 6427 MHz para las transmisiones Tierra-espacio. Tales transmisiones deben estar contenidas dentro de ± 2 MHz de estas frecuencias, a reserva del acuerdo obtenido en virtud del numeral 9.21.

3) Normas de aplicación relevantes:

En Francia metropolitana, el procedimiento de asignación de la banda de 3,5 GHz (3.4 – 3.8 GHz) concluyó el 12 de noviembre de 2020 con la emisión de permisos de uso de frecuencias por parte de ARCEP.

La ANFR intervino en varios puntos para facilitar la puesta a disposición de esta banda para el despliegue de 5G:

a) Marco normativo europeo

Las agencias de espectro de los países miembros de la Unión Europea, desde noviembre de 2016, dieron un impulso político decisivo al recomendar la banda de 3,5 GHz, como banda principal para la introducción de 5G, ya que la banda de 26 GHz se considera una banda pionera por encima de 24 GHz ([Documento RSPG16-032 FINAL](#)). Tras un mandato de la Comisión Europea confiado en 2017, la CEPT propuso las condiciones técnicas para el uso de las frecuencias por parte de la 5G en estas dos bandas, recogidas posteriormente en las Decisiones comunitarias implementadas en Francia.

Las condiciones armonizadas son objeto de la Decisión [\(UE\) 2019/235](#) adoptada el 24 de enero de 2019, que recoge las recomendaciones del informe CEPT ([CEPT Report 067](#)), incluida la protección de los radares militares que operan por debajo de 3,4 GHz. Esta decisión impone un plan de frecuencias TDD (el terminal y la estación base explotan la misma banda de frecuencias en función del tiempo) y deja la flexibilidad necesaria a nivel nacional para mantener cuentas de los usos existentes (por ejemplo, en Francia, por debajo de 3490 MHz). Estas condiciones se han recogido en las autorizaciones 5G emitidas por ARCEP. En 2021, trabajos complementarios a nivel europeo permitieron precisar las condiciones aplicables a los equipos 5G de interior para la protección de radares que operan debajo de 3,4 GHz [ECC/REC/\(21\)02](#).

b) Adaptación del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias

La tabla nacional de distribución de bandas de frecuencia (TNRBF) se revisó en junio de 2018 para dar a ARCEP el marco normativo para la introducción de 5G en Francia en la banda de 3,5 GHz. Los cambios en el [TNRBF](#) adoptados entonces especificaban, entre otras cosas, el calendario de liberación de la banda de 3,5 GHz por parte del Ministerio del Interior para permitir futuras autorizaciones “5G” en esta banda. Se ha cumplido el ambicioso calendario de liberación progresiva por departamento, en tres fases, a más tardar el 1 de marzo de 2020.

c) Protección de estaciones terrestres por encima de 3800 MHz

A petición de ARCEP, la ANFR ha realizado estudios de impacto preliminares de la protección de las estaciones terrestres que reciben por encima de 3800 MHz frente a las estaciones base 5G con antenas activas (AAS) que serán autorizadas por Arcep en la banda 3490-3800 MHz. Estos estudios

se han recopilado en un informe y los operadores deben comprometerse en la declaración COMSIS a respetar las densidades superficiales de potencia establecidas sobre la base de este informe y reunidas en un documento de la COMSIS. Se podrían profundizar más adelante, por ejemplo, en el caso de nueva información sobre el filtrado de equipos 5G o el nivel de bloqueo de las estaciones terrestres.

d) Coordinación de los derechos fronterizos en la banda 3400-3800 MHz

Las limitaciones de despliegue fronterizo en 5G en esta banda están estrechamente relacionadas con el problema de la sincronización en TDD con los países fronterizos. En algunos casos, también es necesario proteger las estaciones terrestres del servicio fijo por satélite (FSS) de los países vecinos.

La introducción del 5G en la banda 3400-3800 MHz planteó la cuestión de la adecuación de los acuerdos existentes, bilaterales y multilaterales con los países vecinos. La ANFR se centra hoy en la revisión de estos acuerdos teniendo en cuenta los desafíos planteados por la sincronización de las redes en las fronteras que no son tenidos en cuenta por los acuerdos vigentes, en un contexto en el que se han armonizado dos estructuras de tramas a nivel europeo.

La recomendación ECC (15)01, revisada en febrero de 2020, sirve como una caja de herramientas para evitar el establecimiento de corredores sin servicios 5G en nuestras fronteras para evitar interferencias entre redes de países vecinos. La Recomendación ECC 20(03), adoptada en octubre de 2020, armoniza dos tramas 5G (DDDSUUDDDD/DDDDDDDSUU+3ms y DDDSU) para facilitar la negociación de los acuerdos y así crear el ecosistema necesario para el desarrollo del “DL blanking”, una funcionalidad que permite la coexistencia en las fronteras en el caso de uso de tramas diferentes a costa de. Esta recomendación se está revisando para cambiar los umbrales de coordinación según los escenarios y los entornos.

Tras las discusiones entre administraciones, se llevaron a cabo múltiples reuniones entre operadores (de Francia, Alemania y Suiza) con el objetivo de llegar a un acuerdo y garantizar la aplicación del *DL symbol blanking* en la frontera. Se está firmando el proyecto de acuerdo entre los operadores franceses, alemanes y suizos sobre las condiciones de despliegue en la banda de 3.5 GHz y, en particular, la introducción del *DL symbol blanking*. Este acuerdo no es aplicable a verticales y redes BLR específicas (3410-3490 MHz en Francia y 3700-3800 MHz en Alemania), ya que no son firmantes.

A la espera de la firma de los acuerdos en la banda 3400-3800 MHz, y para no penalizar a los operadores franceses durante los despliegues en las fronteras, se ha establecido un procedimiento específico en el que el operador se compromete a realizar los cambios cuando sea necesario con la adición de una casilla de verificación en la COMSIS: “En caso de solicitud de la administración competente de un país fronterizo aplicable”.

En cuanto a la protección de las estaciones terrestres FSS, Francia ha identificado diez estaciones extranjeras para proteger, seis en co-canal (banda 3,4 - 3.8 GHz) y cuatro en canal adyacente (banda 3,8 - 4,2 GHz).

Los primeros análisis en co-canal, realizados por la ANFR, muestran una pequeña restricción en el despliegue de 5G en las fronteras, excepto en la periferia de Metz, al este de la A315, a la altura de Montoy-Flanville, así como al sur y al norte de Ars-sur-Moselle. En cuanto al caso de la estación de Rheinhausen, Francia indicó que no podía garantizar la protección de esta estación, siendo el impacto en Alsacia importante (umbral a respetar de 4 dB μ V/m/MHz a 10 m) y la solicitud de protección apareció tarde, después del inicio del procedimiento de autorización. La situación podría cambiar según las respuestas de Alemania, señalando que las restricciones aplicables a los operadores alemanes conducen a un impacto más moderado.

En el canal adyacente, se están llevando a cabo conversaciones con la administración suiza para comprender mejor las limitaciones de despliegue en la cuenca del Léman alrededor de Ginebra.

e) Protección de radioaltímetros en la banda 4200-4400 MHz

Tras la publicación de un informe de la RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics), el 8 de octubre de 2020, los titulares de la Aviación Civil (AC) pidieron que se tomaran medidas para proteger los radioaltímetros que operan en la banda 4200-4400 MHz de los riesgos de interferencia expuestos en este informe. La Agencia reunió entonces a los representantes de los ministerios y asignatarios pertinentes, así como a los operadores, los fabricantes de equipos originales 5G y los industriales de la aeronáutica, dando lugar a un plan de acción de dos niveles.

A la espera de estudios complementarios en curso a nivel europeo, se aplicaron medidas de precaución inmediatas:

- Obligación de los operadores 5G de tomar medidas para evitar configuraciones en las que aparecen "lóbulos de red" en las antenas activas, que tienen la particularidad de "ahuyentar" hacia arriba una parte importante de la potencia de la antena;
- "Zonas de seguridad y precaución" alrededor de las pistas de aeropuertos de Categoría III (enfoque de baja visibilidad), cuyo contorno se define en una nota técnica, y en una zona de 1 km de radio alrededor de algunas helipuertos del Ministerio del Interior (10 en la metrópoli);
- Prohibición para los operadores de 5G de orientar sus haces hacia arriba en estas zonas, así como en algunas zonas de 1 km de radio alrededor de las heliestaciones del Ministerio de Defensa (37 en la metrópoli).

Además, la ANFR contribuye, junto con las partes interesadas nacionales, a los estudios realizados a nivel europeo, para evaluar con mayor precisión los riesgos de interferencia y las posibles remediaciones, así como para dar los elementos de visibilidad necesarios a la industria aeronáutica que actualmente está revisando las normas de los radioaltímetros para que estos últimos sean más resistentes a las emisiones en la banda adyacente.

BRASIL

Atribución de la Banda 3.3 – 3.8 GHz en Brasil

1) Cuadro de Atribución de la Banda 3.3 – 3.8 GHz en Brasil

MHz		MHz	
REGIÃO 2	BRASIL	DESTINAÇÃO	INSTRUMENTOS
3300-3400	3300-3400	3300-3400	3300-3400
RADIOLOCALIZAÇÃO	FIXO	COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA	Resolução Anatel nº 688/17 (D.O.U. de 09.11.2017)
Radioamador	MÓVEL	LIMITADO PRIVADO	Resolução Anatel nº 697/18 (D.O.U. de 30.08.2018)
Fixo	RADIOLOCALIZAÇÃO	MÓVEL PESSOAL	Resolução Anatel nº 711/19 (D.O.U. de 29.05.2019)
Móvel	Radioamador	TELEFÔNICO FIXO COMUTADO	Ato SOR nº 9106/18 (B.S.E. de 26.11.2018)
		Auxiliar de radiodifusão e correlatos	Ato SOR nº 1477/21 (D.O.U. de 05.03.2021)
		Radioamador	Ato SOR nº 2962/21 (D.O.U. de 28.04.2021)
		Repetição de televisão	Ato SOR nº 3544/21 (D.O.U. de 20.05.2021)
		Televisão em circuito fechado com utilização de radioenlace	Ato SOR nº 9426/21 (D.O.U. de 24.10.2021) Ato SOR nº 9064/22 (D.O.U. de 28.06.2022)
5.149 5.429C 5.429D	5.149 5.429C 5.429D		
3400-3500	3400-3410	3400-3410	3400-3410
FIXO	FIXO	COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA	Resolução Anatel nº 697/18 (D.O.U. de 30.08.2018)
FIXO POR SATÉLITE (espaço para Terra)	MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.431A 5.431B	LIMITADO PRIVADO	Resolução Anatel nº 711/19 (D.O.U. de 29.05.2019)
MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.431A 5.431B	Radioamador	MÓVEL PESSOAL	Ato SOR nº 9106/18 (B.S.E. de 26.11.2018)
Radioamador	Radioamador por Satélite 5.282	TELEFÔNICO FIXO COMUTADO	Ato SOR nº 1477/21 (D.O.U. de 05.03.2021)
Radiolocalização 5.433		Radioamador	Ato SOR nº 2962/21 (D.O.U. de 28.04.2021) Ato SOR nº 3544/21 (D.O.U. de 20.05.2021) Ato SOR nº 9426/21 (D.O.U. de 24.10.2021) Ato SOR nº 9064/22 (D.O.U. de 28.06.2022)
B9.2			

	3410-3500 FIXO MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.431A 5.431B Radioamador	3410-3500 COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA LIMITADO PRIVADO MÓVEL PESSOAL TELEFÔNICO FIXO COMUTADO Radioamador	3410-3500 Resolução Anatel nº 697/18 (D.O.U. de 30.08.2018) Resolução Anatel nº 711/19 (D.O.U. de 29.05.2019) Ato SOR nº 9106/18 (B.S.E. de 26.11.2018) Ato SOR nº 1477/21 (D.O.U. de 05.03.2021) Ato SOR nº 2962/21 (D.O.U. de 28.04.2021) Ato SOR nº 3544/21 (D.O.U. de 20.05.2021) Ato SOR nº 9426/21 (D.O.U. de 24.10.2021) Ato SOR nº 9064/22 (D.O.U. de 28.06.2022)
5.282			
	3500-3600 FIXO FIXO POR SATÉLITE (espaço para Terra) MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.431B Radiolocalização 5.433	3500-3600 FIXO MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.431A 5.431B TELEFÔNICO FIXO COMUTADO	3500-3600 COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA LIMITADO PRIVADO MÓVEL PESSOAL TELEFÔNICO FIXO COMUTADO
			Resolução Anatel nº 711/19 (D.O.U. de 29.05.2019) Ato SOR nº 1477/21 (D.O.U. de 05.03.2021) Ato SOR nº 2962/21 (D.O.U. de 28.04.2021) Ato SOR nº 3544/21 (D.O.U. de 20.05.2021) Ato SOR nº 9426/21 (D.O.U. de 24.10.2021) Ato SOR nº 9064/22 (D.O.U. de 28.06.2022)

3600-3700	3600-3700	3600-3700	3600-3700
FIXO	FIXO	COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA	Resolução Anatel nº 711/19 (D.O.U. de 29.05.2019)
FIXO POR SATÉLITE (espaço para Terra)	MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.431A 5.431B	LIMITADO PRIVADO	Ato SOR nº 1477/21 (D.O.U. de 05.03.2021)
MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.434	Fixo por Satélite (espaço para Terra)	MÓVEL PESSOAL	Ato SOR nº 2962/21 (D.O.U. de 28.04.2021)
Radiolocalização 5.433		TELEFÔNICO FIXO COMUTADO	Ato SOR nº 3544/21 (D.O.U. de 20.05.2021)
		TODOS os SERVIÇOS de TELECOMUNICAÇÕES - Fixo por Satélite (Observada a atribuição da faixa)	Ato SOR nº 9426/21 (D.O.U. de 24.10.2021) Ato SOR nº 9064/22 (D.O.U. de 28.06.2022)

3700-4200	3700-3800	3700-3800	3700-3800
FIXO	FIXO	COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA	Resolução Anatel nº 711/19 (D.O.U. de 29.05.2019)
FIXO POR SATÉLITE (espaço para Terra)	FIXO POR SATÉLITE (espaço para Terra)	LIMITADO PRIVADO	Ato SOR nº 2962/21 (D.O.U. de 28.04.2021)
MÓVEL exceto móvel aeronáutico	MÓVEL exceto móvel aeronáutico 5.431A 5.431B	MÓVEL PESSOAL	Ato SOR nº 9426/21 (D.O.U. de 24.10.2021)
		TELEFÔNICO FIXO COMUTADO	Ato SOR nº 8991/22 (D.O.U. de 27.06.2022)
		TODOS os SERVIÇOS de TELECOMUNICAÇÕES - Fixo por Satélite (Observada a atribuição da faixa)	

(El Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias de Brasil puede consultarse en el siguiente enlace: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2023/1834-resolucao-759#Anexo>)

(Nota: Si bien la Banda de Frecuencias 3.7-3.8 GHz está atribuida al servicio móvil, la misma no ha sido incluida en la subasta de frecuencias para servicios 5G)

2) Notas al Cuadro de Atribución de la Banda 3.3 – 3.8 GHz en Brasil

5.149 al asignar a las estaciones de otros servicios para los que las bandas de frecuencias a continuación están asignadas, las administraciones deben tomar todas las medidas posibles para proteger el servicio de radioastronomía contra las interferencias perjudiciales. Las emisiones de las estaciones espaciales o aeronáuticas pueden ser especialmente fuentes de interferencias graves para el servicio de radioastronomía (véanse los puntos 4.5 y 4.6 y el artículo 29). (CMR-07)

5.429C - Categoría de servicio diferente: en Argentina, Belice, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, Guatemala, México, Paraguay, República Dominicana y Uruguay, la banda de frecuencias 3300-3400 MHz está asignada al servicio móvil excepto móvil aeronáutico en primario. En Argentina, Brasil, Guatemala, México, Paraguay, República Dominicana y Uruguay, la banda de frecuencias 3300-3400 MHz también está asignada al servicio fijo en primario. Las estaciones de los servicios fijo y móvil que operen en la banda de frecuencias 3300-3400 MHz no deben causar interferencias perjudiciales ni solicitar protección a las estaciones que operen en el servicio de radiolocalización. (CMR-19).

5.429D - En los siguientes países de la Región 2, Argentina, Belice, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, Guatemala, México, Paraguay, República Dominicana y Uruguay, se identifica el uso de la banda de frecuencias 3300-3400 MHz para la implementación de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT). Dicho uso debe ser conforme a la Resolución 223 (Rev.CMR-19). Dicho uso en Argentina, Paraguay y Uruguay está sujeto a la aplicación del #9.21. La utilización de la banda de frecuencias 3300-3400 MHz por las estaciones IMT del servicio móvil no debe causar interferencias perjudiciales ni solicitar la protección de los sistemas del servicio de radiolocalización, y las administraciones que deseen implantar IMT deben obtener el acuerdo con los países vecinos para proteger las operaciones del servicio de radiolocalización. Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está asignada y no establece prioridad en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).(CMR-19)

5.431A - En la Región 2, la atribución de la banda de frecuencias 3400-3500 MHz al servicio móvil, excepto móvil aeronáutico, en primario, está sujeta a acuerdo según el número 9.21. (CMR-15)

5.431B - En la Región 2, la banda de frecuencias 3400-3600 MHz se identifica para su utilización por las administraciones que deseen implementar las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT). Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está asignada y no establece prioridad en el Reglamento de Radiocomunicaciones. En la fase de coordinación, también se aplican las disposiciones de los puntos 9.17 y 9.18. Antes de que una administración ponga en servicio una estación de base o una estación móvil de un sistema IMT, deberá buscar un acuerdo según 9.21 con otras administraciones y garantizar que la densidad de flujo de potencia (dfp) producida a 3 m por encima del suelo no supere -154,5 dB(W/(m² · 4 kHz)) durante más del 20% del tiempo en la frontera del territorio de cualquier otra administración. Este límite podrá superarse en el territorio de cualquier país cuya administración así lo haya acordado. Para garantizar el respeto del límite de dfp en la frontera del territorio de cualquier otra administración, se efectuarán cálculos y comprobaciones teniendo en cuenta toda la información pertinente, de común acuerdo entre ambas administraciones (la administración responsable de la estación terrena y la administración responsable de la estación terrena), con la asistencia de la Oficina si así se solicita. En caso de desacuerdo, el cálculo y la verificación de la dfp serán efectuados por la Oficina, teniendo en cuenta la información anterior. Las estaciones del servicio móvil, incluidas las de los sistemas IMT, en la banda de frecuencias 3400-3600 MHz no solicitarán más protección frente a las estaciones espaciales que la prevista en el cuadro 21-4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (edición de 2004). (CMR-15)

B9.2 El Servicio de Radioaficionados por Satélite podrá operar en las bandas de frecuencias 435-438 MHz, 1260-1270 MHz, 2400-2450 MHz, 3400-3410 MHz y 5650-5670 MHz, a condición de no causar interferencias perjudiciales a otros servicios asignados en las mismas bandas de frecuencias ni

solicitar protección contra los mismos. El uso de las bandas de frecuencias 1260-1270 MHz y 5650-5670 MHz por el servicio de radioaficionados por satélite está limitado a la dirección Tierra-espacio.

3) Normas de aplicación relevantes:

- Resolución Nro. 711 de 28 de Mayo de 2019 - Atribución de la Banda de Frecuencias de 3.3-3.8 GHz al Servicio Móvil

<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2019/1285-resolucao-711>

(modificada por Resolución Nro. 742 de 1 de Marzo de 2021

[https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2021/1512-resolucao-742#art1\)](https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2021/1512-resolucao-742#art1)

Acto Nro. 1477 de 5 de Marzo de 2021 – Requisitos técnicos y operacionales de las condiciones de uso de las sub-bandas de 3.300 MHz y 3.700 MHz, para las estaciones del Servicio Móvil Personal - SMP, del Servicio de Comunicación Multimedia - SCM, del Servicio de Telefonía Fija Conmutada - STFC y del Servicio Limitado Privado - SLP

<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2021/1521-ato-1477>

- Acto Nro. 2962 de 28 de Abril de 2021 - Requisitos técnicos y operativos de sincronización para sistemas TDD (duplexación por división de tiempo) para uso por estaciones en el Servicio Móvil Personal - SMP, en el Servicio de Comunicación Multimedia - SCM, en el Servicio Telefónico Fijo Conmutado - STFC y en el Servicio Limitado Privado – SLP (Sincronización entre Redes TDD)

<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2021/1529-ato-2962>

- Acto Nro. 9064 de 28 de Junio de 2022

Establecer, con carácter provisional y de precaución, que los haces principales de las antenas empleadas en estación base, nodal o repetidora operando en la sub banda de 3.300 MHz a 3.700 MHz, instaladas en las áreas cercanas a los aeródromos especificados en el Anexo, tengan su asignación limitada entre la línea del horizonte y por debajo.

<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2022/1677-ato-9064>

- Acto Nro. 9426 de 24 de Octubre de 2021

Requisitos Técnicos para la Convivencia entre Estaciones Terrestres operando en la Banda de 3.300 MHz a 3.700 MHz y Estaciones Terrenas del Servicio Fijo por Satélite operando en la Banda de 3.700 MHz a 4.200 MHz

<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2021/1597-ato-9426>

b. Atribución de la Banda 4.2 – 4.4 GHz en Brasil

1) Cuadro de Atribución de la Banda 4.2 – 4.4 GHz en Brasil

4200-4400 MÓVEL AERONÁUTICO (R) 5.436 RADIONAVEGAÇÃO AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.440	4200-4400 RADIONAVEGAÇÃO AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.440	4200-4400 LIMITADO MÓVEL AERONÁUTICO	4200-4400
--	---	---	-----------

2) Notas al Cuadro de Atribución de la Banda 4.2 – 4.4 GHz en Brasil

5.437 - La detección pasiva, en los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de investigación espacial, podrá autorizarse en la banda de frecuencias 4200-4400 MHz en secundaria. (CMR-15)

5.440 - El servicio de señales patrón de frecuencia y tiempo por satélite podrá ser autorizado a utilizar la frecuencia 4202 MHz para las transmisiones del espacio a la Tierra y la frecuencia 6427 MHz para las transmisiones de la Tierra al espacio. Dichas transmisiones estarán contenidas dentro de los límites de ± 2 MHz en torno a estas frecuencias, previo acuerdo obtenido de conformidad con el número 9.21.

EEUU

Atribución de la Banda 3.7 – 4.4 GHz en Estados Unidos

1) Cuadro de Atribución de la Banda 3.7 – 4.4 GHz en Estados Unidos

3700-4200 FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-Earth) MOBILE except aeronautical mobile 4200-4400 AERONAUTICAL MOBILE (R) 5.436 AERONAUTICAL RADIONAVIGATION 5.438 5.437 5.439 5.440	3700-4200 4200-4400 AERONAUTICAL RADIONAVIGATION 5.440 US261	3700-4000 FIXED MOBILE except aeronautical mobile NG182 NG457A 4000-4200 FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-Earth) NG457A NG182	Wireless Communications (27) Satellite Communications (25) Aviation (87)
--	---	---	--

(El Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias de Estados Unidos puede consultarse en el siguiente enlace: <https://transition.fcc.gov/oet/spectrum/table/fccitable.pdf>)

2) Notas al Cuadro de Atribución de la Banda 3.7 – 4.2 GHz en Estados Unidos:

NG182 In the band 3700-4200 MHz, the following provisions shall apply:

(a) Except as provided in paragraph (c)(1), any currently authorized space stations serving the contiguous United States may continue to operate on a primary basis, but no applications for new space station authorizations or new petitions for market access shall be accepted for filing after June 21, 2018, other than applications by existing operators in the band seeking to make more efficient use of the band 4000-4200 MHz. Applications for extension, cancellation, replacement, or modification of existing space station authorizations in the band will continue to be accepted and processed normally.

(b) In areas outside the contiguous United States, the band 3700-4000 MHz is also allocated to the fixed-satellite service (space-to-Earth) on a primary basis.

(c) In the contiguous United States, i.e., the contiguous 48 states and the District of Columbia as defined by Partial Economic Areas Nos. 1-41, 43-211, 213-263, 265-297, 299-359, and 361-411, which includes areas within 12 nautical miles of the U.S. Gulf coastline (see § 27.6(m) of this chapter), the following provisions apply:

(1) Incumbent use of the fixed-satellite service (space-to-Earth) in the band 3700-4000 MHz is subject to the provisions of §§ 25.138, 25.147, 25.203(n) and part 27, subpart O of this chapter;

(2) Fixed service licensees authorized as of April 19, 2018, pursuant to part 101 of this chapter, must self-relocate their point-to-point links out of the band 3700-4200 MHz by December 5, 2023;

(3) In the band 3980-4000 MHz, no new fixed or mobile operations will be permitted until specified by Commission rule, order, or notice.

NG457A Earth stations on vessels (ESVs), as regulated under 47 CFR part 25, are an application of the fixed-satellite service and the following provisions shall apply:

(a) In the band 3700-4200 MHz, ESVs may be authorized to receive FSS signals from geostationary satellites. ESVs in motion are subject to the condition that these earth stations may not claim protection from transmissions of non-Federal stations in the fixed and mobile except aeronautical mobile services. While docked, ESVs receiving in the band 4000-4200 MHz may be coordinated for up to 180 days, renewable. NG182 applies to incumbent licensees that provide service to ESVs in the band 3700-4000 MHz.

(b) In the band 5925-6425 MHz, ESVs may be authorized to transmit to geostationary satellites on a primary basis.

US261 The use of the band 4200-4400 MHz by the aeronautical radionavigation service is reserved exclusively for airborne radio altimeters. Experimental stations will not be authorized to develop

equipment for operational use in this band other than equipment related to altimeter stations. However, passive sensing in the Earth-exploration satellite and space research services may be authorized in this band on a secondary basis (no protection is provided from the radio altimeters).

5.440 The standard frequency and time signal-satellite service may be authorized to use the frequency 4202 MHz for space-to-Earth transmissions and the frequency 6427 MHz for Earth-to-space transmissions. Such transmissions shall be confined within the limits of \pm 2 MHz of these frequencies, subject to agreement obtained under No. 9.21.

3) Normas de aplicación relevantes:

(27) Código Federal de Regulaciones – Título 47 CFR 27.5(m) [https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-B/part-27#p-27.5\(m\)](https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-B/part-27#p-27.5(m)).

(87) Código Federal de Regulaciones – Título 47 CFR 87.5 “Aeronautical radionavigation service” (radionavigation service intended for the benefit and for the safe operation of aircraft) [https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-D/part-87#p-87.5\(Aeronautical%20radionavigation%20service\)](https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-D/part-87#p-87.5(Aeronautical%20radionavigation%20service))

Código Federal de Regulaciones – Título 47 CFR 87.187(s) “The frequency band 4200–4400 MHz is reserved exclusively for radio altimeters”. [https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-D/part-87#p-87.187\(s\)](https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-D/part-87#p-87.187(s))

b. Report and Order of Proposed Modification “Expanding Flexible Use of the 3.7 to 4.2 GHz Band”

1) Norma específica para la banda 3.7 – 4.2 GHz

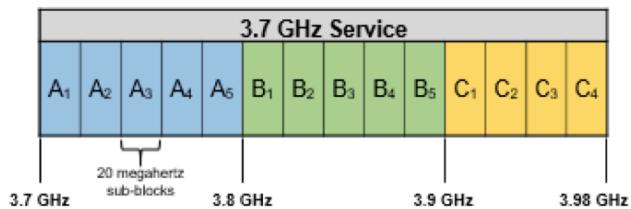
La norma puede consultarse en el enlace <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-20-22A1.pdf>. También en el correspondiente archivo en pdf.

2) Puntos destacados de la norma (NO SE TRADUCEN POR LA CITACIÓN):

a) “30. Next, we designate 280 megahertz of C-band spectrum (3.7-3.98 GHz) throughout the contiguous United States to be cleared for auction plus another 20 megahertz (3.98-4.0 GHz) to be cleared to serve as a guard band.”

b) “a. Band Plan”

72. *Block Size.*—We will designate the lower 280 megahertz of C-band spectrum in 100 megahertz increments as the A and B Blocks and in an 80-megahertz increment as C Block. We will issue licenses in the A, B, and C Blocks in 20 megahertz “sub-blocks.”²²⁰ Specifically, the A Block (3.7-3.8 GHz), B Block: (3.8-3.9 GHz), and C Block (3.9-3.98 GHz) will be licensed according to the following channel plan:



“75. Spectrum Block Configuration.—We adopt rules to license the A, B, and C 20 megahertz sub-blocks of C-band spectrum in an unpaired spectrum block configuration because there is wide support in the record for this approach, and it will enhance the flexible and efficient use of the band for next-generation services and other advance spectrum-based services. In contrast to a paired channel configuration that assumes frequency division duplex operations, an unpaired spectrum configuration is technology neutral, i.e., enables time division duplex operations, which has become increasingly prevalent in deployments of digital broadband networks. As Verizon points out, time division duplex technology “enables smart-antenna adaptive-beam technologies for highly directive antenna gain, and allows users to maximize flexibility to manage uplink and downlink traffic ratios.” In light of these considerations, we conclude that an unpaired spectrum block configuration will provide licensees the flexibility necessary to increase the capacity of their networks and make the most efficient use of C-band spectrum.”

c) “333. We note that Comcast recommends that the Commission “encourage interested stakeholders to convene a broad-based group to develop a comprehensive framework for addressing interference prevention, detection, mitigation, and enforcement.” Such groups have been successful in the past in providing the Commission with valuable insights and useful information regarding spectrum transitions for new uses. We believe that such a multi-stakeholder group could provide valuable insight into the complex coexistence issues in this band and provide a forum for the industry to work cooperatively towards efficient technical solutions to these issues. We encourage the industry to convene a group of interested stakeholders to develop a framework for interference prevention, detection, mitigation, and enforcement in the 3.7-4.2 GHz band. We also encourage any multi-stakeholder group that is formed to consider best practices and procedures to address issues that may arise during the various phases of the C-band transition and to consider coexistence issues related to terrestrial wireless operations below 3.7 GHz. To ensure that all viewpoints are considered, we encourage industry to include representatives of incumbent earth stations (including MVPDs and broadcasters), incumbent space station operators, wireless network operators, network equipment manufacturers, **and aeronautical radionavigation equipment manufacturers**. We do not, however, take a position on the exact makeup or organizational structure of any such stakeholder group.”

d) “9. Coexistence with Aeronautical Radionavigation:”

“390. The nearby 4.2-4.4 GHz band is allocated to Aeronautical Radionavigation and aeronautical mobile (route) services worldwide. This band is home to radio altimeters and Wireless Avionics

Intra-Communications systems used on aircraft and helicopters worldwide. Radio altimeters are critical aeronautical safety-of-life systems primarily used at altitudes under 2500 feet above ground level (AGL) and must operate without harmful interference. Wireless Avionics Intra-Communications systems provide communications over short distances between points on a single aircraft and are not intended to provide air-to-ground communications or communications between two or more aircraft.”

“391. By licensing only up to 3.98 GHz as flexible-use spectrum, we are providing a 220- megahertz guard band between new services in the lower C-band and radio altimeters and Wireless Avionics Intra-Communications services operating in the 4.2-4.4 GHz band. This is double the minimum guard band requirement discussed in initial comments by Boeing and ASRC.”

“392. A set of preliminary test results prepared by the Aerospace Vehicle Systems Institute was provided to the Commission after the comment and reply period. AVSI’s study simulated an aggregate 5G emission for various amounts of allocated spectrum and measured the received power level at which the accuracy of height measurements exceeds certain criteria. In one scenario, AVSI modeled a worst- case scenario with an aircraft altimeter operating at 200 feet AGL, with numerous other altimeters nearby creating in-band interference and aggregate base station emissions across the 3.7 to 4.0 GHz band. The preliminary results show that there may be a large variation in radio altimeter receiver performance between different manufacturers. The measured PSD levels at which errors occurred ranged from -21 to - 51 dBm/MHz for the various types of altimeters that were tested. AVSI concluded that “most of the altimeters reported broadly consistent susceptibility to OoBI PSD levels until more than approximately 200 to 250 MHz of OoBI was introduced.” AVSI noted that as the amount of active spectrum increased above 3.9 GHz, the acceptable levels of PSD began to decrease.”

“393. T-Mobile commissioned a study by Alion to review the AVSI report and they raised several concerns. Alion noted that AVSI’s analysis identified levels of interference where performance degradation occurred, but did not investigate whether these levels would occur in any reasonable scenario. Alion questioned the interference margin assumptions, noting that two of the initial altimeters types failed due to interference from other altimeters and the scenario had to be adjusted. They also questioned the simulated waveform for the 5G emissions, which showed flat out-of-band emissions approximately 40 dB below the carrier. Alion noted that emissions naturally decrease with frequency separation and concluded that the simulated emission “would not comply with the emission limits for virtually any services associated with a base station or fixed station governed by FCC rules: Part 27 services, Part 27.53 or Part 96 services.”

“394. In subsequent filings, the AVSI again claims that some receivers may be susceptible to performance degradation, but expressly recognizes that “further analysis is required to consider more sophisticated propagation models and other coupling paths and, as appropriate, to characterize statistical likelihood of interference levels.”

“395. We agree with T-Mobile and Alion that the AVSI study does not demonstrate that harmful interference would likely result under reasonable scenarios (or even reasonably “foreseeable”

scenarios to use the parlance of AVSI). We find the limits we set for the 3.7 GHz Service are sufficient to protect aeronautical services in the 4.2-4.4 GHz band. Specifically, the technical rules on power and emission limits we set for the 3.7 GHz Service and the spectral separation of 220 megahertz should offer all due protection to services in the 4.2-4.4 GHz band. We nonetheless agree with AVSI that further analysis is warranted on why there may even be a potential for some interference given that well-designed equipment should not ordinarily receive any significant interference (let alone harmful interference) given these circumstances. As such, we encourage AVSI and others to participate in the multi-stakeholder group that we expect industry will set up—and as requested by AVSI itself. We expect the aviation industry to take account of the RF environment that is evolving below the 3980 MHz band edge and take appropriate action, if necessary, to ensure protection of such devices.”

(Nota: AVSI ha elaborado un informe después de la aprobación de la norma dictada por la FCC de los Estados Unidos que puede consultarse en el siguiente enlace: <https://avsi.aero/afe76s2-report/>)

CONCLUSIONES

De los países analizados, se ha destacado, que la regulación de mayor nivel estricto es la europea, en particular anotaciones de la legislación francesa, y la que le sigue en detalle es la de la FCC en EEUU, cabe notar, que el origen del problema se detecta en el seguimiento de la historia de eventos (línea de tiempo) de los acontecimientos definidos por la FCC, **en donde la AVSI (Aerospace Vehicle Systems Institute) manifiesta en dos documentos técnicos, su preocupación sobre las interferencias que le puede ocasionar los sistemas de 5G, ante el primer llamado, la FCC recibió el memorando técnico, y desestimó el asunto, sin embargo manifestó la necesidad de estudiar y entender el fenómeno a mayor profundidad**, y es entonces cuando la misma institución genera un segundo comunicado reiterando el problema técnico desde los problemas de interferencias de señales de banda adyacente sobre la resolución y operación de los radio altímetros. **Hasta donde se tiene conocimiento y estado del arte, los países han optado por desarrollar medidas de prevención para mitigar el riesgo de interferencias, usando medidas de zonas de prohibición y potencias máximas de radiación y configuraciones de las antenas en las estaciones base en los corredores de aproximación de las aeronaves para evitar cualquier tipo de incidente.** Sin embargo en el estado del arte que se tiene hasta este reporte, se ha encontrado que **el origen de la discusión es a causa de un comunicado de un grupo de fabricantes (AVSI) con la FCC, y que dicha discusión se ha extendido al resto del mundo**, dentro del documento técnico ofrecido por la AVSI, existen afirmaciones que se deben comprobar desde el punto de vista técnico, por lo tanto en el presente proyecto se ha optado por enfocarse a comprobar si las afirmaciones hechas en dicho documento técnico son para tener en cuenta en el caso colombiano, dado que la FCC desestimó dichas afirmaciones, es por lo tanto que el equipo de trabajo actual buscará porqué la FCC hace este proceso de desestimación.

II. ANÁLISIS TÉCNICO

Documento Técnico

Assessment of C-Band Mobile Telecommunications Interference Impact on Low Range Radar Altimeter Operations.

En el presente documento, se habla de las medidas que tomó la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) para las bandas de 3.7-4.2 GHz, haciendo que el espectro en las frecuencias de 3.7-3.98 GHz esté disponible para uso flexible, incluyendo aplicaciones de tecnología 5G. Además, se abordan diversos aspectos relacionados con los radios altímetros, incluyendo sus requisitos operativos, estándares y el riesgo potencial de interferencia debido a la implementación de redes 5G en la banda de frecuencia de 3.7-3.98 GHz. El informe proporciona una explicación detallada sobre los altímetros. Además, se analizan los riesgos específicos de interferencia perjudicial que enfrentan los radios altímetros en aeronaves civiles y comerciales debido a la creciente presencia de redes 5G en dicha banda de frecuencia.

Para lograr este estudio se plantearon lo siguiente:

- Establecer umbrales de interferencia para los radios altímetros en diferentes escenarios operativos y para diferentes plataformas aéreas, basados en los tipos de radios altímetros y sus características.
- Determinar los escenarios operativos para cada plataforma, si los hay, en los que los umbrales interferencia pueden ser superados por las señales de telecomunicaciones 5G esperadas emitidas desde las siguientes fuentes:
 - Estaciones base.
 - Equipos de usuario ubicados en tierra.
 - Equipos de usuario ubicados a bordo de la aeronave.

En otras palabras, lo que busca este documento y estudio es proporcionar una evaluación cuantitativa del rendimiento de los radios altímetros en cuanto a la interferencia de RF proveniente de la tecnología 5G hacia las bandas adyacentes de esta.

Para los modelos de propagación usados para el estudio se consideran escenarios de interferencia en la banda de 3.7-3.98 GHz, se asume que la frecuencia central utilizada en el modelo de propagación es de 3850 MHz para determinar pérdidas de transmisión en señales de cualquier lugar de esta banda. Además, se usaron escenarios en la banda de 4.2-4.4 GHz, donde se asume la frecuencia central en 4.3 GHz; Este a su vez utiliza un margen de seguridad para evitar la interferencia, según ICAO se debe incluir un margen de seguridad de unos 6 dB para el análisis de interferencias.

- Parámetros usados para las estaciones base de 5G:

En tanto a las estaciones utilizadas para la tecnología 5G, la mayoría de ellas se implementan en la banda de 3.7-3.98 GHz, los expertos encargados de las características operativas realizaron el análisis de interferencia con los siguientes valores:

Environment	Urban	Suburban	Rural
Antenna Pattern	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0
Array Size	8 x 8	8 x 8	8 x 8
Element Gain	6.4 dBi	7.1 dBi	7.1 dBi
Element Horizontal 3 dB Beamwidth	90 degrees	90 degrees	90 degrees
Element Vertical 3 dB Beamwidth	65 degrees	54 degrees	54 degrees
Front-to-Back Ratio	30 dB	30 dB	30 dB
Horizontal Array Spacing Coefficient	0.5	0.5	0.5
Vertical Array Spacing Coefficient	0.7	0.9	0.9
Vertical Scan Range¹⁴	-30 to 0 degrees	-10 to 0 degrees	-10 to 0 degrees
Peak Array Gain	24.5 dBi	25.2 dBi	25.2 dBi
Mechanical Downtilt¹⁵	10 degrees	6 degrees	3 degrees
Mast Height	20 meters	25 meters	35 meters
Downlink Bandwidth	100 MHz	100 MHz	100 MHz
Activity Factor	50%	50%	50%
Conducted Power per Element	25 dBm	25 dBm	25 dBm
Peak Output EIRP	67.5 dBm	68.2 dBm	68.2 dBm
Peak Output PSD (EIRP)¹⁶	47.5 dBm/MHz	48.2 dBm/MHz	48.2 dBm/MHz
Conducted PSD, Spurious	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz
Peak Output PSD, Spurious (EIRP)¹⁷	-13.6 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz

En referencia poner características para tamaño de antena 8x8

Environment	Urban	Suburban	Rural
Antenna Pattern	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0	ITU-R M.2101-0
Array Size	16 x 16	16 x 16	16 x 16
Element Gain	6.4 dBi	7.1 dBi	7.1 dBi
Element Horizontal 3 dB Beamwidth	90 degrees	90 degrees	90 degrees
Element Vertical 3 dB Beamwidth	65 degrees	54 degrees	54 degrees
Front-to-Back Ratio	30 dB	30 dB	30 dB
Horizontal Array Spacing Coefficient	0.5	0.5	0.5
Vertical Array Spacing Coefficient	0.7	0.9	0.9
Vertical Scan Range¹⁹	-30 to 0 degrees	-10 to 0 degrees	-10 to 0 degrees
Peak Array Gain	30.5 dBi	31.2 dBi	31.2 dBi
Mechanical Downtilt²⁰	10 degrees	6 degrees	3 degrees
Mast Height	20 meters	25 meters	35 meters
Downlink Bandwidth	100 MHz	100 MHz	100 MHz
Activity Factor	50%	50%	50%
Conducted Power per Element	25 dBm	25 dBm	25 dBm
Peak Output EIRP	79.6 dBm	80.3 dBm	80.3 dBm
Peak Output PSD (EIRP)²¹	59.6 dBm/MHz	60.3 dBm/MHz	60.3 dBm/MHz
Conducted PSD, Spurious	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz	-20 dBm/MHz
Peak Output PSD, Spurious (EIRP)²²	-13.6 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz	-12.9 dBm/MHz

En referencia poner características para tamaño de antena 16x16

- Parámetros utilizados para los usuarios (UE):
Estos valores, se pueden observar en el informe ITU-R M.2292-5, los parámetros usados fueron:

Environment	Urban	Suburban	Rural
Antenna Pattern	Omnidirectional	Omnidirectional	Omnidirectional
Antenna Gain	-4 dBi	-4 dBi	-4 dBi
Indoor Usage	70%	70%	50%
Indoor Penetration Loss	20 dB	20 dB	15 dB
Body Loss	4 dB	4 dB	4 dB
Active UE Density	3/5 MHz/km ²	2.16/5 MHz/km ²	0.17/5 MHz/km ²
UE Height Above Ground	1.5 m	1.5 m	1.5 m
Uplink Channel Bandwidth	20 MHz	20 MHz	20 MHz
Uplink Time Factor	33%	33%	33%
Peak Output EIRP	30 dBm	30 dBm	30 dBm
Peak Output PSD (EIRP)	17 dBm/MHz	17 dBm/MHz	17 dBm/MHz
Conducted PSD, Spurious	-30 dBm/MHz	-30 dBm/MHz	-30 dBm/MHz
Peak Output PSD, Spurious (EIRP)	-34 dBm/MHz	-34 dBm/MHz	-34 dBm/MHz

Parametros para los UE

- Parámetros utilizados para usuarios dentro de la aeronave:

Antenna Pattern	Omnidirectional
Antenna Gain	-4 dBi
Uplink Channel Bandwidth	20 MHz
Uplink Time Factor	33%
Peak Output EIRP	30 dBm
Peak Output PSD (EIRP)	17 dBm/MHz
Conducted PSD, Spurious	-30 dBm/MHz
Peak Output PSD, Spurious (EIRP)	-34 dBm/MHz

Parámetros para UE dentro de aeronave

Para las transmisiones fundamentales y no esenciales del 5G, se realizan pruebas en el rango de 3.7 a 3.98 GHz y en el rango de 4.2 a 4.4 GHz con el fin de determinar los umbrales de tolerancia a la interferencia con los radio altímetros, las señales transmitidas en el rango de 4.2 a 4.4 GHz son consideradas como no permitidas, estas pueden superar el umbral de tolerancia a la interferencia, con el fin de evitar esta posibilidad se debe incluir filtros de rechazo en esa misma banda de frecuencias en la configuración del generador de señales, este filtro debe proporcionar una atenuación que está en el rango de 25 a 40 dB de la banda de 4.2 a 4.4GHz. Según las pruebas de caracterización llevadas en las transmisiones del 5G en bandas de 3.7 a 3.98 GHz, genera niveles no permitidos en la banda de 4.2 a 4.4 GHz por unos -114 dBm/MHz en la entrada del radio altímetro.

Algunas de las pruebas de simulación por parte de la investigación usadas para el 5G fue la utilización de un generador de señal vectorial (VSG) Rohde & Schwarz SMW200A para generar formas de onda de interferencia de 5G en las pruebas de umbral de interferencia. El VSG está configurado para producir formas de onda 5G NR que cumplen con los estándares de prueba del 3GPP, utilizando una modulación OFDM con QPSK. Se selecciona un ancho de banda de 100 MHz y un espaciado de subportadora de 30 kHz para representar las emisiones de enlace descendente de las estaciones base 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz. Se realizan pruebas en tres frecuencias centrales diferentes (3750 MHz, 3930 MHz y 3850 MHz) para cubrir toda la banda, cumpliendo con los sub-bloques de 20 MHz definidos en la Orden de la FCC. Estas pruebas se realizaron en un entorno de laboratorio a temperatura ambiente y se basaron en un solo modelo de cada altímetro de radar.

Durante el estudio de interferencia realizado en aeronaves de transporte aéreo comercial, se analizaron las transmisiones de 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz. El análisis paramétrico consideró diversas altitudes de la aeronave, distancias laterales entre la estación base de 5G y la aeronave, y ángulos de inclinación. Se identificó que la interferencia de 5G puede afectar a los radios altímetros de los aviones hasta altitudes de 4,000 pies y a distancias superiores a 0.4 millas náuticas de la estación base. Sin embargo, es posible mitigar este impacto mediante una planificación adecuada

de la ubicación de las estaciones base en relación con las rutas de vuelo, considerando un margen de seguridad de 6 dB.

En otra simulación llevada a cabo en la investigación con el enfoque de precisión CAT II/III (este se refiere a una clasificación de aterrizaje de precisión que permite a los aviones aterrizar en condiciones de baja visibilidad utilizando sistemas de ayuda a la aproximación), realizaron pruebas de interferencia de las transmisiones fundamentales de 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz, donde experimentaron interferencia incluso con el margen de seguridad de 6 dB, donde todas las estaciones base produjeron niveles de interferencia por encima de los límites establecidos. Además, los niveles de interferencia excedieron el criterio de protección contra sobrecarga del receptor. En este escenario presentó un pico de interferencia preocupante a una altitud de aproximadamente 275 pies (83.82 metros). Este pico podría causar una falla común en todos los Radio altímetros; gracias a estas pruebas se indica que la interferencia de 5G durante el enfoque y aterrizaje puede tener efectos catastróficos y superar los límites de seguridad establecidos.

Para concluir estas pruebas realizadas, en el primer caso o escenario, si se logra tener interferencia durante el aterrizaje automático en condiciones de baja visibilidad, el aterrizaje automático se desactivaría y los pilotos deberían tomar las decisiones para lograr aterrizar de manera adecuada, por lo que la falta de visibilidad y el tiempo limitado para reaccionar aumentan el riesgo de accidentes y también pone presión adicional en los controladores de tráfico aéreo.

En un segundo caso, si solo se cuenta con un radio altímetro disponible y esta muestra lecturas erróneas por culpa de la interferencia, los pilotos no pueden ser alertados y deberán tomar las decisiones por sí mismos para realizar las debidas acciones, puede llevar a errores en el desplazamiento y reducción del acelerador por lo que puede generar un aterrizaje brusco o catastrófico contra el suelo. Para finalizar, con un tercer escenario, el piloto automático identificaría las lecturas erróneas del radio altímetro y tomaría acciones adecuadas, el problema con esto va en que algunas aeronaves, si no cuentan con la intervención de la tripulación, las lecturas pueden ser tomadas por el piloto automático como correctas.

Como conclusiones y resultados a lo largo de las pruebas realizadas, se determinan los siguientes impactos de interferencia de 5G:

- Estaciones Base 5G:
Las estaciones base de 5G representan gran riesgo de interferencia para los radios altímetros en todos los tipos de aeronaves, con consecuencias e impactos de gran alcance en las operaciones de aviación.
 1. En un primer escenario, donde se usa aviones comerciales que son usados para viajes de pasajeros y transporte de carga, el impacto se limita a escenarios específicos, donde solo las estaciones base producen interferencia por encima del límite seguro de interferencia, y solo para ciertas combinaciones de altitud de la aeronave y distancia lateral entre la aeronave y la estación base. En el peor de los casos, se supera el límite seguro de interferencia por casi 14 dB para las emisiones fundamentales de 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz. Para las transmisiones por fuera del rango de 5G en la banda de 4.2-4.4 GHz, no se supera el límite seguro de interferencia en ninguna configuración de estación base.

2. Para un segundo escenario, el cual cubre aviones comerciales para el transporte aéreo regional o nacional, como aviones de negocios, el impacto de la interferencia de 5G desde las estaciones base es inevitable. Cada configuración de estación base produce interferencia perjudicial tanto por las transmisiones fundamentales en la banda de 3.7-3.98 GHz como por las transmisiones por fuera del rango en la banda de 4.2-4.4 GHz, con base en esto, prácticamente en casi todos los escenarios entre la aeronave y la estación base, la interferencia tiene más de 47 dB para las transmisiones fundamentales y en más de 27 dB para las transmisiones por fuera del rango en la banda.
3. Para finalizar con un tercer escenario, el cual está constituido por los helicópteros de transporte como de aviación general, el impacto de la interferencia de las estaciones base de 5G es casi tan amplio como para el segundo escenario, en el peor de los casos, se supera el límite seguro de interferencia en más de 45 dB para las transmisiones fundamentales y en casi 12 dB para las transmisiones por fuera del rango en la banda.

- 5G en equipos de usuarios (UE):

Al realizar las pruebas con los dispositivos de usuarios, simulando las transmisiones de 5G, cerca de aeropuertos, para lograr identificar una posible interferencia para los radios altímetros, se concluye que no se espera que los equipos de usuario 5G que operan en el suelo causen interferencia perjudicial en los altímetros de radar.

- 5G en equipos de usuarios (UE) a bordo de aeronaves:

Los equipos de usuarios 5G que pueden operar dentro de una aeronave, para los escenarios 2 y 3, puede representar un riesgo significativo de interferencia para los radio altímetros de estas aeronaves, al considerar el margen de seguridad de 6 dB de la ICAO, los niveles de interferencia en el peor de los casos calculados en las aeronaves del escenario 2 superan el límite seguro de interferencia en 39 dB para las emisiones fundamentales 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz, y en 20 dB para las transmisiones 5G por fuera de la banda en la banda de 4.2-4.4 GHz. para las aeronaves del escenario 3, la interferencia generada en el peor de los casos supera el límite seguro de interferencia en 52 dB para las transmisiones fundamentales 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz, y en 33 dB para las transmisiones 5G por fuera de la banda en la banda de 4.2-4.4 GHz.

Como conclusiones de mitigación y disminución de riesgo ante las interferencias generadas en los radios altímetros, los resultados que se presentaron en este informe indican un riesgo alto para la interferencia en los radios altímetros de todos los tipos de aeronaves civiles y comerciales debido a los sistemas de telecomunicaciones 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz. Se hace énfasis en comprender el rendimiento de los radios altímetros que actualmente se usan en las aeronaves para lograr identificar los riesgos e impactos operativos debido a la interferencia, según la caracterización proporcionada en este informe. En lo previsto para la implementación de la tecnología 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz, estos altímetros de radar estarán expuestos a dichos riesgos e impactos operativos si no se implementan mitigaciones adecuadas.

Las conclusiones de este informe resaltan la importancia de tomar medidas de mitigación y reducción de riesgos ante las interferencias que pueden afectar a los radios altímetros. Los

resultados presentados en el documento indicaron un alto riesgo de interferencia en los altímetros de todas las aeronaves civiles y comerciales debido a los sistemas de telecomunicaciones de la tecnología 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz. Es fundamental comprender el rendimiento de los radios altímetros que se utilizan actualmente en las aeronaves para poder identificar los riesgos e impactos operativos derivados de la interferencia, tal como se ha caracterizado en este informe.

Teniendo en cuenta lo previsto para la implementación de la tecnología 5G en la banda de 3.7-3.98 GHz, es importante implementar medidas de mitigación adecuadas para proteger los radios altímetros de estos riesgos e impactos operativos. De lo contrario, estos altímetros estarán expuestos a interferencias que pueden comprometer su funcionamiento y afectar la seguridad de las aeronaves asimismo del personal que se encuentre en esta.

Para garantizar una operación segura de los radios altímetros y evitar posibles consecuencias adversas, se requiere la implementación de soluciones adecuadas por parte de los actores involucrados, incluyendo la industria de la aviación, la industria de las comunicaciones móviles y los organismos reguladores correspondientes. Solo a través de una acción coordinada se podrá realizar la mitigación eficazmente del riesgo de interferencia con el fin de proteger la integridad de los sistemas de los radios altímetros en todas las aeronaves.

Características técnicas de los radios altímetros

Información básica:

En este segmento del documento se presenta información relevante sobre las características principales de los radios altímetros según la recomendación dada por la UIT-R M.2059-0, abarcando dos tipos principales, donde el primero utiliza la modulación de onda continua modulada en frecuencia (FMCW) y el segundo se basa en la modulación de impulsos. Además, se discutirán en detalle las características de los radios altímetros, sus aplicaciones, descripciones técnicas y los criterios de protección necesarios para minimizar el riesgo de interferencia.

El radio altímetro es un instrumento de mucha importancia en las aeronaves, ya que su objetivo principal es proporcionar una medición precisa de la distancia mínima entre la aeronave y la superficie terrestre. Normalmente los radios altímetros cuentan con un rango de medición que se encuentra entre -6 metros y 6,000 metros (-20 pies y 19,685 pies), aunque algunos radios altímetros pueden alcanzar mediciones de hasta 15,000 metros (49,213 pies) y gracias a su importancia para las aeronaves, los radios altímetros son considerados equipos obligatorios.

1. Radio altímetro de onda portadora modulada en frecuencia (FMCW).

Estos Radio altímetros, funcionan mediante un sistema de transmisión y recepción con antenas separadas. En otras palabras, se debe enviar la señal transmitida hacia el suelo, cuando esta señal

alcanza el suelo, se refleja (rebota) y regresa a la antena receptora, luego el sistema realiza un cálculo para determinar la distancia de la aeronave al suelo.

Esta señal transmitida por estos radios altímetros está modulada en frecuencia (FM), no puede ser sintonizada desde la cabina. El cálculo se basa en la suposición de que una señal transmitida en el rango de frecuencia de 4,200 a 4,400 MHz volverá con la misma frecuencia, pero durante el tiempo que tarda la señal en llegar al suelo y regresar, esta frecuencia de transmisión cambia, por lo que se toma en cuenta la diferencia entre las frecuencias de TX y RX, este intervalo se le denomina con Δf .

las siguientes fórmulas son para realizar los cálculos de estos parámetros:

$$\Delta f = f_1 - f_2$$

Si se conoce Δf o Δt , se logra calcular la altura con la siguiente formula:

$$H_0 = \frac{c\Delta t}{2} = \frac{c\Delta f}{2 \left(\frac{df}{dt} \right)}$$

Donde:

H_0 = altura sobre terreno

c = velocidad de la luz

Δt = diferencia temporal medida

Δf = diferencia de frecuencia medida

$\frac{df}{dt}$ = cambio de frecuencia en transmisores por unidad de tiempo

2. Radios altímetros por impulsos

Al igual que los radios altímetros FMCW, estos también brindan una medición precisa de la altitud de la aeronave al suelo, los radios altímetros por impulsos típicos tienen un rango de medición de - 6 metros a 2,500 metros (-20 pies a 8,200 pies), y su altitud operativa alcanza los 12 kilómetros (39,360 pies). Estos altímetros brindan algunas funciones diferentes a los otros altímetros, las cuales son aproximación de precisión, el aterrizaje, la proximidad al suelo y los sistemas de prevención de colisiones, estas funciones son frecuentemente usadas por el piloto automático y en condiciones de baja visibilidad.

Estos radios altímetros usan un impulso de señal que se transmite hacia el suelo para medir la altura, además se mide la diferencia de tiempo entre el impulso transmitido y el recibido, gracias a que la velocidad de propagación de la energía es constante, el tiempo que este tarda es proporcional a la altura de la aeronave.

Información técnica

Los radios altímetros actuales utilizan dos tipos de modulación de la forma de onda del radar: la modulación en frecuencia lineal (LFMCW o FMCW) y la modulación por impulsos. La modulación FM/LFMCW es empleada como un método menos complejo para proporcionar mediciones altamente precisas de la altitud en altitudes críticas antes del aterrizaje.

Los radios altímetros FMCW utilizan la relación entre la frecuencia espectral y el ancho de banda del receptor para medir la distancia, lo que les permite obtener la altitud mediante el análisis espectral. Utilizan algoritmos específicos para extraer información precisa sobre la altura.

Por otro lado, los radios altímetros por impulsos determinan la altitud midiendo la diferencia de tiempo entre el impulso transmitido y el impulso recibido. Algunos de estos radios altímetros utilizan antenas separadas para la transmisión y la recepción. Además, se encuentran configuraciones con realimentación negativa que permiten limitar el rango de retorno al más cercano dentro de la cobertura angular de la antena utilizada para estas mediciones.

En tanto a la precisión que deben tener estos radios altímetros, deben tener unos requisitos que son establecidos bajo los estándares de RTCA DO-155 y EUROCAE ED30. Los estándares dan una precisión requerida para el rango de 0,9 metros en altitudes inferiores a 46 metros, también está el estándar de RTCA DO-155 y ARINC 707, el cual exige una precisión de 0,45 metros o el 2% de la altitud indicada, utilizando el valor más alto, en altitudes entre -6,1 y 762 metros, para cumplir con estos requisitos de precisión utilizando el ancho de banda disponible, se aplican técnicas de procesamiento de señal.

Algunas aeronaves usan hasta 3 radios altímetros al mismo tiempo, con el fin de reducir o minimizar la probabilidad de que el piloto automático o el sistema de control de vuelo acepten datos de altitud incorrectos, pero esto trae un problema que los radio altímetros deben coexistir entre ellos con 3 antenas instaladas muy cerca entre ellas, para evitar interferencias, utilizan el desplazamiento de frecuencia central, este es usado alrededor de 5 MHz, lo que significa que si hay dos radios altímetros en una aeronave, se necesitan 5 MHz adicionales, pero si la aeronave cuenta con 3, se requerirán 10 MHz adicionales.

Para lograr obtener el ancho de banda necesario que será usado por los radios altímetros es importante tener claro algunos aspectos:

- Se recomienda utilizar un ancho de banda de corte a -40 dB para determinar el ancho de banda de la señal de transmisión.
- Se debe tener en cuenta cuántos dispositivos se deben tener, algunas aeronaves grandes que utilizan dos o tres sistemas de altímetros, se puede emplear un desplazamiento en frecuencia de entre 5 MHz y 10 MHz para evitar interferencias mutuas.
- Cuando una aeronave tiene instalados varios radios altímetros, la frecuencia central no siempre es 4,3 GHz, si la aeronave usa dos o tres radio altímetros, las frecuencias centrales son desplazadas para evitar interferencias entre ellos.
- Los radios altímetros por impulsos utilizan técnicas de ensanchamiento del espectro para lograr la precisión necesaria y la integridad de la señal, haciendo uso del ancho de banda completo de 200 MHz disponible en la banda de frecuencia de 4,200 a 4,400 MHz.

- Los receptores de los Radio altímetros FMCW emplean filtros para evitar la degradación de la señal, estos filtros tienen capacidad limitada para eliminar transmisiones cercanas a la banda, lo que afecta el rendimiento con interferencias.

Para finalizar con esta caracterización sobre los radios altímetros, en las siguientes tablas se evidencia las características y parámetros utilizados por los radios altímetros FMCW analógicos y digitales más usados internacionalmente:

Para los análogos se cuenta con las siguientes configuraciones:

Radioaltímetros analógicos							
	Radioaltímetro A1	Radioaltímetro A2	Radioaltímetro A3	Radioaltímetro A4	Radioaltímetro A5	Radioaltímetro A6	Unidades
Transmisor							
Frecuencia central nominal	4 300	4 300	4 300	4 300	4 300	4 300	MHz
Potencia de transmisión	0,600	1	0,1 a 0,25	100	5	40	W (cresta)
Modulación (FMCW o impulso)	FMCW	FMCW	FMCW	Impulso	Impulso	Impulso	
Ancho de banda del impulso modulado, excluida la deriva de temperatura	104	132,8	133	No aplicable	No aplicable	No aplicable	MHz
Gama de altitud indicada	-4,6 a + 2 500 (-15 a +8 200)	-6 a +2 438 (-20 a +8 000)	-6 a +6 000 (-20 a +19 685)	+1 524 (5 000)	+1 524 (5 000)	+457 (1 500)	Metros/(pies)
Altitud operativa	12	12	20	12	12	12	km
Gama de temperatura operativa	-40° a +70°	-55° a +70°	-40° a +71°	-55° a +70°	-55° a +70°	-55° a +70°	Celsius
Estabilidad en frecuencia	100	Sin referencia cristal	Sin referencia cristal	No aplicable	No aplicable	No aplicable	ppm/°C
Deriva en frecuencia máxima dentro de la gama de temperatura operativa	±15	±15	±20	No aplicable	No aplicable	No aplicable	MHz
Número típico de altímetros instalados en una aeronave	Hasta 3	Hasta 3	Hasta 3	Hasta 3	Hasta 3	Hasta 3	Por aeronave

	Radioaltímetro A1	Radioaltímetro A2	Radioaltímetro A3	Radioaltímetro A4	Radioaltímetro A5	Radioaltímetro A6	Unidades
Receptor							
Desplazamiento de la frecuencia central entre cada uno de los sistemas de radioaltímetro	5	5	0	No aplicable	No aplicable	No aplicable	MHz
Frecuencia de repetición de la forma de onda	49 a 51 Hz	150 Hz	12 Hz a 1 623 Hz	10 000 pps	20 000 pps	6 000 pps	Hz o pps (impulso por segundo)
Ancho de impulso	No aplicable	No aplicable	No aplicable	130	200	75	ns
Ancho de banda de emisión de 3 dB	110	162,8	171	8	7	15	MHz
Ancho de banda de emisión de 20 dB	120	170	181	44	29	51	MHz
Ancho de banda de emisión de 40 dB	180	180	191	130	108	131	MHz
Sensibilidad*	-120	< -113	≤ -120	-95	-95	-95	dBm
Cifra de ruido	10	6	6	10	10	10	dB
$P_{T,RF}$ Sobrecarga del umbral de potencia de entrada del receptor	-30	-53	-56	-40	-40	-40	dBm
Ancho de banda de frecuencia intermedia (IF) a -3 dB	2	0,25	0,025 a 2	9,2	6,0	16	MHz

	Radioaltímetro A1	Radioaltímetro A2	Radioaltímetro A3	Radioaltímetro A4	Radioaltímetro A5	Radioaltímetro A6	Unidades
Antena							
Ganancia de antena	10	10 (típica), 9,5 (mínima)	10 (típica), pero puede utilizarse una antena distinta	13	11	11	dBi
Pérdida del cable (trayecto único)	6	6	2 a 7	6	6	6	dB
Ancho de haz de -3 dB	40 a 60	55	45 a 60	35	45	45	Grados

Para los digitales se cuenta con las siguientes configuraciones:

	Radioaltímetro D1	Radioaltímetro D2	Radioaltímetro D3	Radioaltímetro D4	Unidades
Transmisor					
Frecuencia central nominal	4 300	4 300	4 300	4 300	MHz
Potencia de transmisión (cresta)	0,400	0,100	0,1 a 1	5	W (cresta)
Modulación	FMCW	FMCW	FMCW	Impulsos	
Ancho de banda del impulso modulado excluida la deriva de temperatura	150	176,8	133	No aplicable	MHz
Gama de altitud indicada	-6 a +1 676 (-20 a +5 500)	-6 a +1 737 (-20 a +5 700)	-6 a 6 000 (-20 a +19 685)	-6 a 2 424 (-20 a +8 000)	Metros/(pies)
Altitud operativa	12	12	20	12	km
Gama de temperatura	-40 a +70	-40 a +70	-40 a +71	-40 a +71	Celsius
Estabilidad en frecuencia	±50	±30	±5	No aplicable	ppm
Deriva en frecuencia máxima dentro de la gama de temperatura operativa	±0,22	±0,129	±0,22	No aplicable	MHz
Número típico de sistemas instalados	2 o 3	2 o 3	1 o 2	1 o 2	Por aeronave

	Radioaltímetro D1	Radioaltímetro D2	Radioaltímetro D3	Radioaltímetro D4	Unidades
Principio de compartición para las instalaciones de dos y tres radioaltímetros	Lapso de frecuencia determinado en función del SDI instalado (desplazamiento de -2,5; 0, o +2,5 MHz). La temporización de la forma de onda se ajusta al recibir interferencia. Se utiliza el procesamiento de la señal para mitigar los efectos de la interferencia cruzada en el impulso IF.	El número de sistemas instalados (1, 2, 3) determina el desplazamiento en frecuencia de -5 MHz, 0 MHz o +5 MHz. Cada sistema selecciona un patrón de salto en frecuencia lineal para evitar la interferencia mutua entre aeronaves	No aplicable	No aplicable	
Ancho de impulso	No aplicable	No aplicable	No aplicable	30 o 225	ns
Frecuencia de repetición de la forma de onda	143 Hz Fija	1 000 Hz Fija	100 Hz a 4 700 Hz	25 000 pps	Hz o pps (impulsos por segundo)
Ancho de banda de emisión de 3 dB	150	177	175	5 o 31	MHz
Ancho de banda de emisión de 20 dB	153	180	185	26 o 105	MHz
Ancho de banda de emisión de 40 dB	180	190	196	106 o 195	MHz
Receptor					
Sensibilidad*	< -114	< -125	≤ -120	-95	dBm
Cifra de ruido	8	9	8 a 12	10	dB
$P_{T,RF}$ Sobrecarga del umbral de potencia de entrada del receptor	-30	-43	-53	-40	dBm

	Radioaltímetro D1	Radioaltímetro D2	Radioaltímetro D3	Radioaltímetro D4	Unidades
Ancho de banda de frecuencia intermedia (IF) a -3 dB	0,312 MHz (LPF – un solo lado)	1,95 MHz	0,1 a 2,0	30	MHz
Antena					
Ganancia de antena	11	10	8 a 11	13	dBi
Pérdida del cable (trayecto único)	6 (10 máx.)	0	2 a 7	0 a 2	dB
Ancho de haz a -3 dB	40 a 60	45 a 60	45 a 60	45	Grados

AVANCES ACTUALES

El proceso técnico, previo a las medidas del mes dos, requiere verificar la viabilidad de iniciar las campañas de medidas en campo con los equipos actuales, mientras llegan por importación o compra los demás elementos específicos. Para tal fin se elaboraron unas campañas de medidas de campo para verificar espectro ocupado por los sistemas de radio altímetros, las mediciones se hicieron en el Aeropuerto José María Córdoba, se tomaron medidas de la señal por medio del analizador de espectro, obteniendo así el espectro emitido por 4 aviones, todos de marca comercial modelo Air Bus a319 con los siguientes resultados (la plataforma de ARIBUS A319 usa el radio altímetro ALA – 52 B fabricado por la empresa Honeywell y que opera hasta los 8000 pies de altura, es un radar de estado sólido).

Mediciones al pie de la pista de aterrizaje:

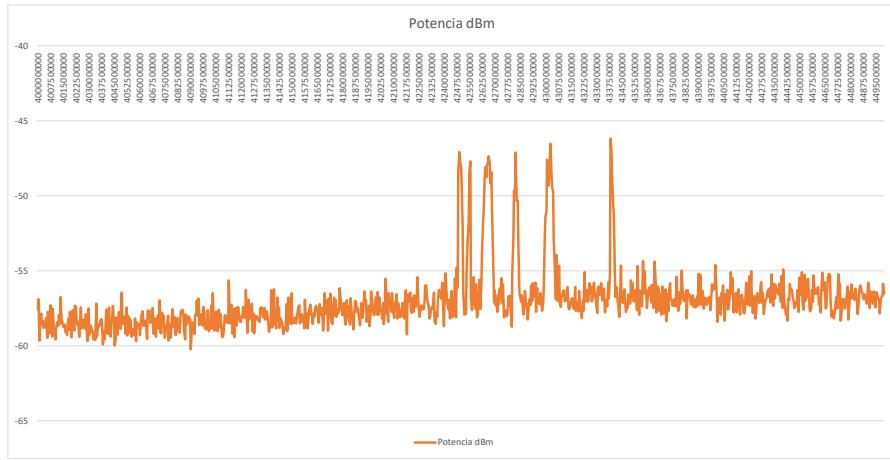


Ilustración 3 Medición de espectro cabecera pista

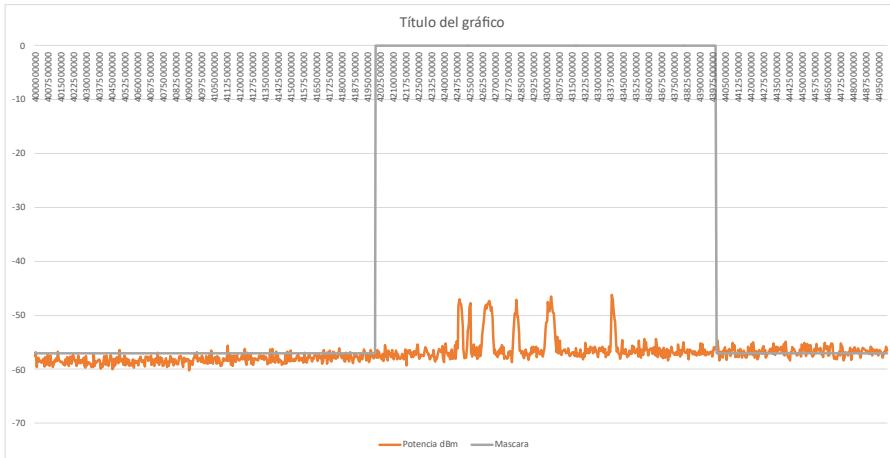


Ilustración 4 Medición de espectro cabecera pista utilizando máscara

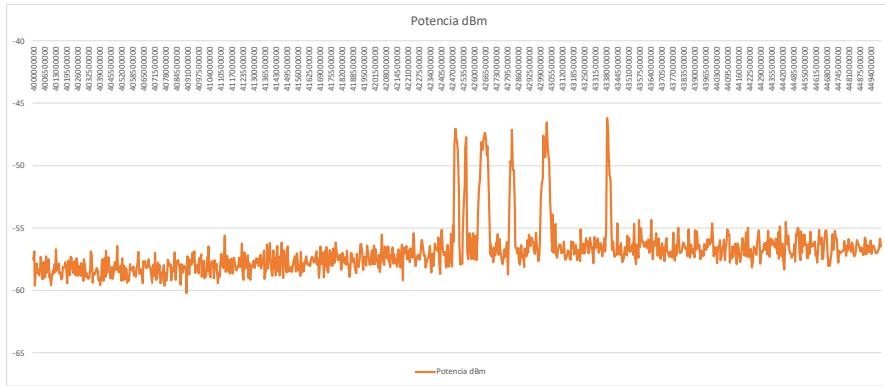


Ilustración 5 Medición espectro cabecera pista de aterrizaje

Las mediciones se llevaron a cabo a una distancia de 2 km de la pista durante el proceso de aterrizaje de las aeronaves.

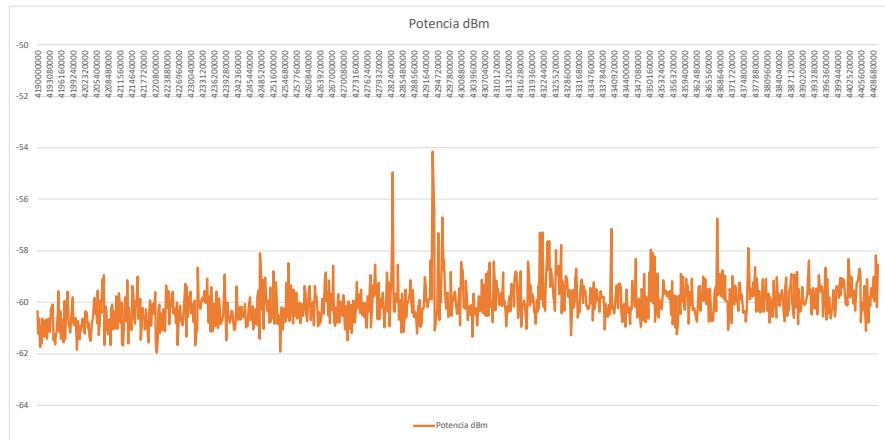


Ilustración 6 Medición espectro 2km cabecera

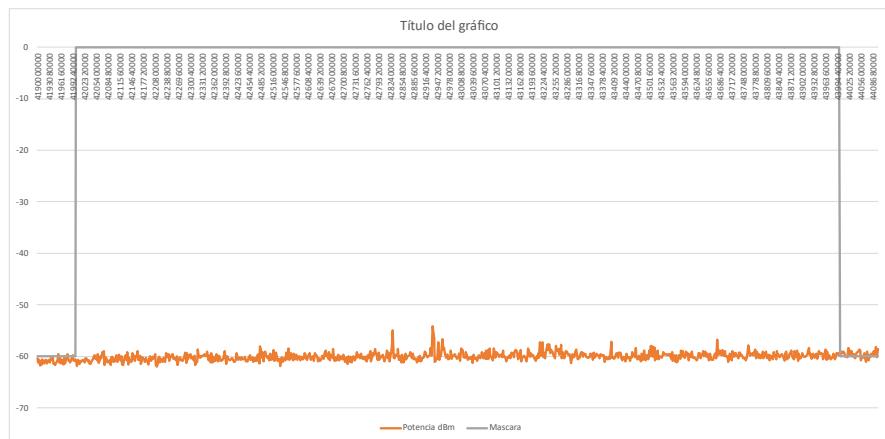


Ilustración 7 Medición espectro 2km cabecera con máscara

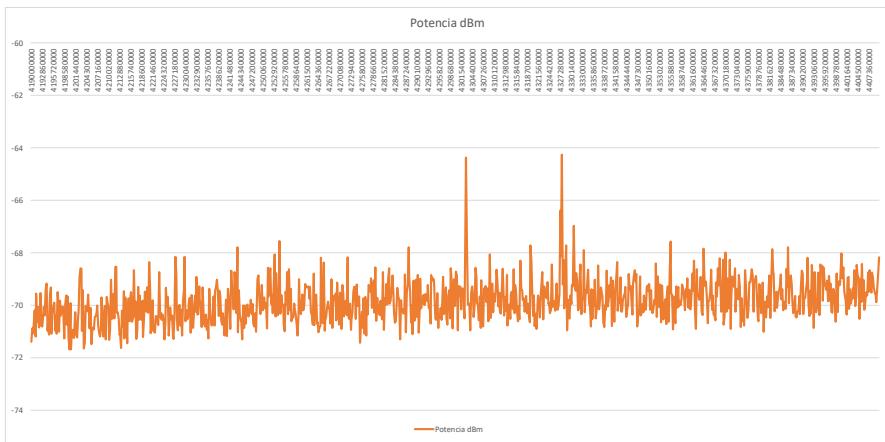


Ilustración 8 Medición espectro a 2km cabecera

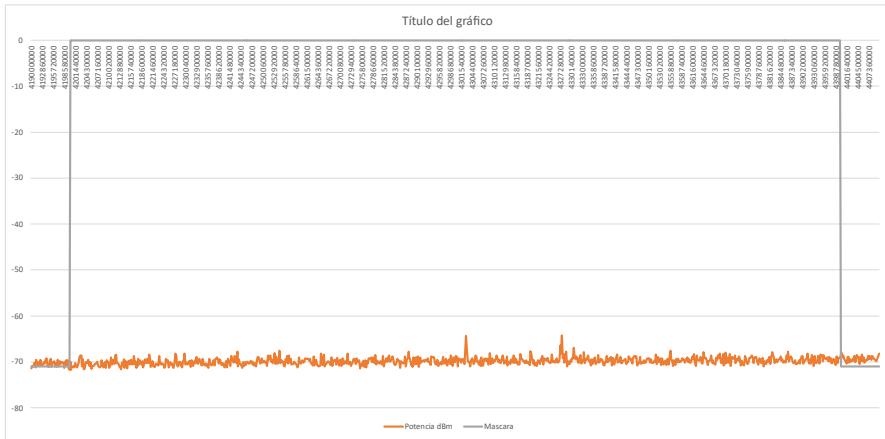


Ilustración 9 Medición espectro a 2km cabecera con máscara

SIMULACIONES

En el último año, el desarrollo e implementación de las redes móviles de quinta generación (5G) ha sido de gran interés y avance en el campo de las telecomunicaciones, donde se han presentado diferentes problemas con la implementación de estas nuevas tecnologías, se han llevado investigaciones sobre el uso adecuado del 5G en diferentes frecuencias, con diferentes potencias de transmisión y muchos más parámetros que se han ido modificando según el interés en los países.

Con base en la nueva generación de telefonía móvil, **srsRAN** surgió como una solución de software de código abierto que implementa las funciones de acceso de radio (RAN) para redes móviles, incluyendo 5G, **srsRAN** ofrece herramientas de configuración y control que permiten configurar parámetros de red, simular diferentes condiciones de canal entre otros. Esto permite crear escenarios realistas y evaluar el rendimiento de la red en diferentes simulaciones. A continuación, se brindará más información acerca del software:

El software srsRAN sigue con la arquitectura definida por el 3GPP (3rd Generation Partnership

Project) usada para la tecnología 5G, lo que hace cumplir con los estándares y normativas establecidos en la industria de las telecomunicaciones. La arquitectura se divide en los siguientes ítems:

- Unidad distribuida (DU): Esta unidad se encarga de las funciones de procesamiento y transmisión de la señal a nivel local. Se encuentra en la estación base o en el nodo de acceso y se encarga del procesamiento de señales y el control de las antenas. Esta unidad realiza un papel importante para la optimización y rendimiento del 5G.
- Unidad centralizada (CU): La CU se encarga de las funciones de control centralizado y coordinación en la red, en otras palabras, es la que realiza las tomas de decisiones sobre la gestión de la red y la asignación de recursos. Esta unidad garantiza la operación de las diferentes unidades distribuidas y coordina la comunicación entre ellas.
- Plano de control (CU-CP): Esta parte de la arquitectura se ocupa de las tareas de control y gestión de la red, incluyendo la señalización y la configuración de las conexiones. El plano de control garantiza una gestión eficiente de los recursos de la red y permite una rápida adaptación a los cambios en las demandas del tráfico.
- Plano de usuario (CU-UP): Esta parte de la arquitectura se encarga de las transmisiones de datos entre los dispositivos móviles (UEs) y la red. En esta parte es donde se garantiza una transmisión confiable y eficiente de los datos.

Además de contar con la arquitectura elaborada de 5G, **srsRAN** utiliza todas las capas que son necesarias para el funcionamiento adecuado de una red 5G, incluyendo la capa física, la capa de enlace de datos y la capa de red. Estas capas proporcionan las siguientes funciones esenciales:

- Capa física: La capa física de **srsRAN** es la encargada de realizar la modulación y demodulación de la señal, es la que implementa el acceso al medio y la transmisión de datos físicos a través del canal inalámbrico.
- Capa de enlace de datos: La capa de enlace de datos de srsRAN se encarga de la segmentación y reensamblaje de los datos, controla el acceso al medio y garantiza una transmisión fiable y eficiente de los datos entre los UEs y la red.
- Capa de red: La capa de red de **srsRAN** maneja todo lo relacionado con el enrutamiento de los paquetes de datos, el establecimiento de conexiones y la gestión de la movilidad de los UEs dentro de la red.

En resumen, **srsRAN** es una solución de software de código abierto que implementa las funciones de acceso de radio (RAN) para redes móviles, incluyendo 5G. Su arquitectura, implementación de capas, herramientas de configuración y control, así como su integración con otros componentes de la red móvil, demuestran su capacidad para ofrecer una solución flexible, eficiente y compatible con los estándares de la industria en el contexto de redes 5G. El equipo de trabajo procederá a tomar los desarrollos de srsRAN para implementarlos en los equipos de laboratorio que soportan dicha configuración.

LABORATORIO

El laboratorio cuenta con un grupo de equipos de medidas de espectro radioeléctrico, y emisores como antenas y como receptores, amplificadores y filtros. Se cuenta con un VNA, Agilent Technologies N9914A, (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), equipos de cómputo (ver Ilustración 11 Elementos de Medidas Laboratorio) y dispositivos de radio definido por software SDRs de la marca ETTUS que pueden manejar señales desde los 40MHz hasta los 6.5GHz, con resoluciones hasta de 128M muestras por segundo, con un grupo de más de 20 antenas en todos los rangos de frecuencia establecidos de 88MHz hasta 5GHz:

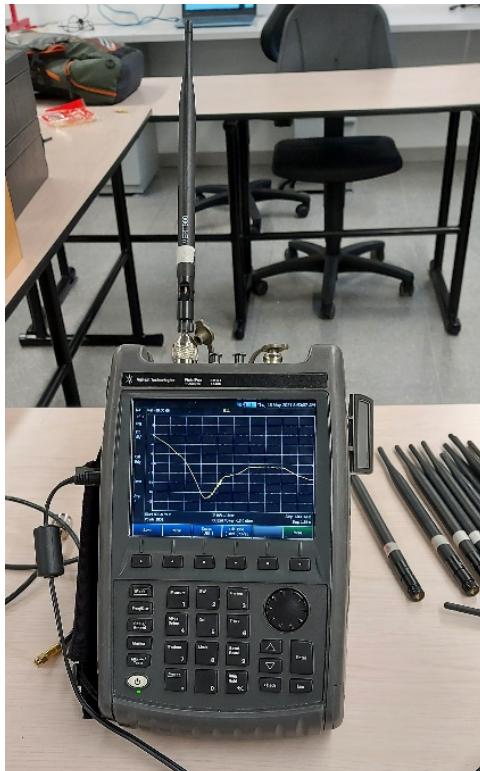


Ilustración 10 VNA Agilent

Características del analizador Vectorial

Analizador Vectorial (capacidad de VNA y SA) y de espectro N9914A Fielfox Agilent

- Rango de operación: 30 KHz a 6.5GHz
- Traza de Ruido: 0.004 dB rms
- Precisión de nivel de potencia: ± 1.5 dB at -15 dBm
- Rango dinámico: 100dB 2 Puertos tipo N (f)
- Resolution bandwidth 1Hz a 500 KHz
- Ancho de banda en tiempo real: 10MHz

- MSD 12us
- Periodo de adquisición mínima 20ms, máxima 500ms
- Precisión de amplitud: ± 0.5 dB banda completa,
- Rango de temperatura: -10 a +55°C (14 a 131°F)

Las pruebas para realizar se van a concentrar en determinar los niveles de interferencia usando varias técnicas de evaluación de la degradación de la señal en función

Ilustración 11 Elementos de Medidas Laboratorio

de un interferente (ver Ilustración 12 Escenario general de medición de interferencia):



Ilustración 12 Escenario general de medición de interferencia

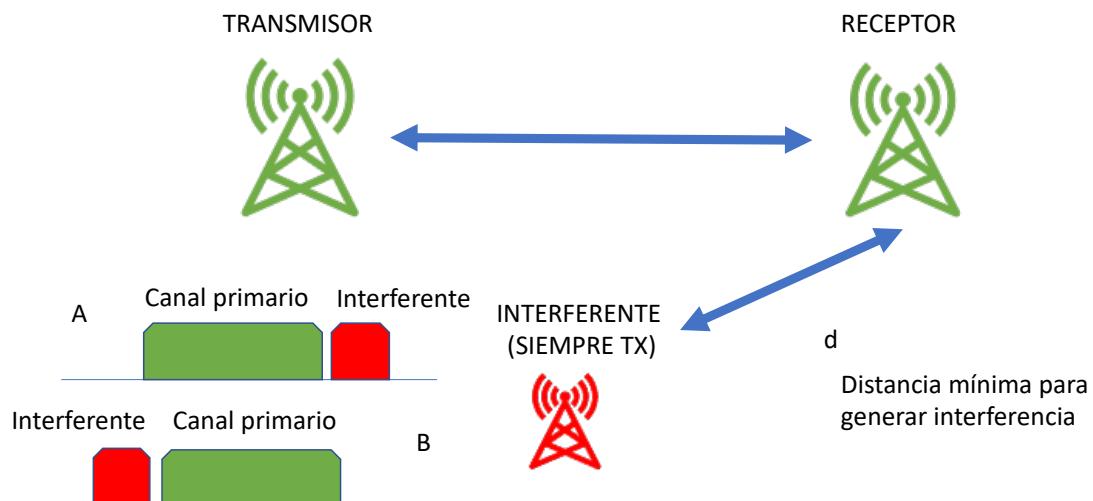


Ilustración 12 Escenario general de medición de interferencia

En las campañas de medida se hará las siguientes configuraciones por rangos de bandas establecidas por las canalizaciones definidas internacionalmente para cada canal de 5G y 4G:

- Interferencia hacia los radios altímetros.
 - Determinación del nivel de interferencia de una comunicación móvil sobre el piso de ruido (I/N).
 - Se pone un analizador de espectro con una antena en la banda de recepción del radio altímetro, y se pone a radiar una estación con los diferentes estándares de comunicación móviles (4G, 5G) y se va acercando el canal radiante iterando distancia y banda de guarda de separación y presencia de filtro pasa bandas (CON y SIN filtro), se toma la medida en el analizador CON y SIN el interferente y se determina el cambio de potencia en el piso de ruido para estimar el nivel de Interferencia en función de SNR y banda de guarda.
 - Determinación del nivel de interferencia sobre el funcionamiento del radio altímetro.
 - Se pone un sistema de radio altímetro a operar, y se pone a radiar una estación con los diferentes estándares de comunicación móviles (4G, 5G) y se va acercando el canal radiante iterando distancia y banda de guarda de separación y presencia de filtro pasa bandas (CON y SIN filtro), se toma la medida de SNR, banda de guarda, presencia de filtro y se encuentra el nivel de error introducido en el radio altímetro para las campañas de medidas, con esta campaña se encuentra el efecto de incidencia en error en el radio altímetro por la presencia de señales interferentes (se puede detectar si hay fallos o no en el dispositivo de medida)
- Interferencia hacia los sistemas de comunicaciones móviles:
 - Determinación de nivel de interferencia de un radio altímetro sobre un sistema de comunicación móvil.
 - Se pone un analizador de espectro con una antena en la banda de recepción de comunicación móvil (iterando en las bandas de comunicación móviles), y se mide la radiación en las cabeceras de las pistas de los aeropuertos para determinar si existen señales de interferencia cuando hay o no un radio altímetro radiando en la zona, y con ello determinar el nivel I/N generado por dicha tecnología.
 - Determinar el nivel de interferencia sobre una comunicación móvil por parte de un radio altímetro
 - Se usa un enlace de 4G y 5G operando entre un radiador y un receptor en el laboratorio, usando las canalizaciones y variando la portadora (por ende banda de guarda) con y sin filtro, y se va a acercando al interferente que sería un generador de señal de radio altímetro, y se determina el parámetro de calidad (en este caso el EVM) de una demodulación de la señal de comunicación móvil, para

determinar el nivel de (S+I)/N vs distancia vs tasa de error, y determinar la degradación de una comunicación móvil a razón de la operación de un radio altímetro.

- Determinación de la ocupación espectral de los radios altímetros actuales en el país, observando dos aeropuertos del país. Para ello, se procede a usar un analizador de espectro con una antena calibrada y caracterizada, en la banda de operación de los radios altímetros de 4200 a 4400 MHz, con una observabilidad desde los 3500 MHz para determinar si durante la operación de los radios altímetros reales, existen componentes de potencia por fuera de la banda, y bajo qué tipo de condiciones se encuentran estas emisiones (si las hubiere o se detectaran).

CONCLUSIONES

En los procesos desarrollados en el primer mes, se puede afirmar que el proyecto va en orden del día del desarrollo de las actividades, y se está poniendo al día con la documentación de soporte para que las partes tengan la información desarrollada a tiempo, las actividades de recopilación de información y definición metodológica de los requerimientos de la ANE han sido aceptados y se están organizando tanto en la parte de análisis legal, como en la preparación de las actividades de laboratorio, compra de accesorios para mediciones y contratación del proceso de simulación.

En las pruebas de medidas iniciales, para verificar el correcto funcionamiento de los equipos, se ha verificado que se puede medir en campo con los materiales actuales en el laboratorio los valores de las emisiones tanto en la banda de operación de sistemas móviles como en la banda de operación de los radios altímetros, por lo cual se adelantarán las campañas de medición de campo con los recursos actuales, y se complementarán cuando lleguen las antenas pedidas para las bandas específicas.

De las mediciones hechas a la fecha, se ha encontrado que el tipo de avión Airbus A319 posee filtros de alta calidad en la emisión de señales de radio altímetros, en la observación de medidas, no se logra detectar señal fuera de la huella en tierra del avión, es decir, si no se encuentra el receptor de radio bajo la señal del radio altímetro en la huella de trayectoria del avión al aterrizar o al despegar, no es posible percibir la señal del mecanismo de medida. Igualmente, el nivel de potencia detectado, tanto en la cabecera de la pista, como a 2 Km de la misma, se determina que NO EXISTEN LÓBULOS LATERALES O ARMÓNICOS de señal en las bandas laterales, no se ha detectado energía fuera de la banda de señal determinada para los radios altímetros, lo que conlleva a la conclusión de que este tipo de aeronaves poseen filtros de alta calidad, equipos de medidas recientes, y la probabilidad de encontrar interferencia hacia otras tecnologías es muy baja. Igualmente se necesita hacer más campañas de medidas que involucren otro tipo de aeronaves para generalizar los hallazgos.

III. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Nacional del Espectro. Documento de consulta pública sobre las bandas de frecuencias disponibles para el futuro desarrollo de las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) en Colombia. 2020

International Telecommunication Union. ITU towards “IMT for 2020 and beyond”. 2020. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. Reglamento de radiocomunicaciones (2020).

Cisco. Cisco Annual Internet Report (2018 -2023). White Paper, 2020. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>

Agencia Nacional del Espectro. Convocatoria _____

Ericsson. Ericsson Mobility Visualizer. 2020. Disponible en: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobility-visualizer?f=1&ft=1&r=3&t=8&s=4&u=1&y=2020,2026&c=1>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Resolución 964 de 2019 Por la cual se expiden normas relativas a la gestión del espectro radioeléctrico

Congreso de la República. Ley 1341 de 2009 Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones –TIC–, se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones

Agencia Nacional del Espectro. Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia. 2021

OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Políticas de banda ancha para América Latina y el Caribe (OECD Publishing, 2016), <https://doi.org/10.1787/9789264259027-es>.

Renda, A. (2014). *Using regulatory impact analysis to improve decision making in the ICT sector*. www.itu.int

Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Directrices de política y aspectos económicos de asignación y uso del espectro radioeléctrico».

AIRBUS S.A.S. (junio de 2023). *Principle of Height Measurement*.

ITU-R M.1465-4, (Febrero de 2022). *Characteristics of and protection criteria for radars operating in the radiodetermination service in the frequency range 3 100-3 700 MHz*.

ITU-R M.2059-0, (Febrero de 2014). *Operational and technical characteristics and protection criteria of radio altimeters utilizing the band 4 200-4 400 MHz*.

ITU-R M.2292-0, (Diciembre de 2014). *Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses*.

RTCA, (Octubre de 2020). *Assessment of C-Band Mobile Telecommunications Interference Impact on Low Range Radar Altimeter Operations.*

Airbus Flight Ops Support & Training Standards, (diciembre de 2021). *5G IMPACTS ON OPERATIONS.*

RTCA Paper No. 274-20/PMC-2073, (Octubre 2020). *Assessment of C-Band Mobile Telecommunications Interference Impact on Low Range Radar Altimeter Operations.*

GSMA, (2020). Sincronización TDD 5G – Preguntas y respuestas, Recomendaciones para la coexistencia de redes TDD en el rango de 3.5 GHz.

IV. CRONOGRAMA DEFINIDO

Tabla 1 Cronograma del Proyecto

Actividad	Fase	Mes					
		1	2	3	4	5	6
Levantamiento de requerimientos	I	x					
Reunión inicial ANE	I	x					
Reunión de verificación de requerimientos con la ANE	I	x					
Recopilación información jurídica	I	x					
Recopilación información técnica	I		x				
Ensamble de elementos de medidas	II		x	x	x		
Campañas de medidas y salidas de campo	II		x	x	x	x	
consultoría especializada	II	x	x	x	x	x	x
Análisis jurídico y regulatorio y formulación de propuestas	III		x	x			
Análisis técnico y formulación de recomendaciones	III				x	x	x
Reunión de cumplimiento y mejora con la ANE	IV			x			x
Elaboración de informes finales	V		x		x	x	x

ANÁLISIS DE AVANCES DEL PROYECTO

Tabla 2 Evaluación de avances

Actividad	Fase	Mes 1		Mes 2	
		Ejecutado	Proyectado	Ejecutado	Proyectado
Levantamiento de requerimientos	I	100%	100%	100%	100%
Reunión inicial ANE	I	100%	100%	100%	100%
Reunión de verificación de requerimientos con la ANE	I	100%	100%	100%	100%
Recopilación información jurídica	I	100%	100%	100%	100%
Recopilación información técnica	I	0%	0%	70%	100%
Ensamble de elementos de medidas	II	0%	0%	33%	33%
Campañas de medidas y salidas de campo	II	0%	0%	10%	25%
consultoría especializada	II	16%	16%	16%	16%
Análisis jurídico y regulatorio y formulación de propuestas	III	0%	0%	40%	50%
Análisis técnico y formulación de recomendaciones	III	0%	0%	0%	0%
Reunión de cumplimiento y mejora con la ANE	IV	0%	0%	0%	0%
Elaboración de informes finales	V	16%	16%	16%	16%

En el segundo mes de trabajo, las actividades pactadas corresponden a:

- Levantamiento de requerimientos: CUMPLIDA
- Reunión Inicial ANE: CUMPLIDA
- Reunión de verificación de requerimiento: CUMPLIDA

- Recopilación de información Jurídica: CUMPLIDA
- Consultoría especializada: CUMPLIDA, se continúa con la asesoría de los consultores, y están haciendo el análisis jurídico por países
- Elaboración de informes: CUMPLIDA, se ha llegado a estar al día de cumplimiento de los informes, con fechas al día.
- Recopilación de información técnica: EN DESARROLLO, se ha logrado documentar el origen y raíz técnico del problema descrito por las entidades internacionales y se tiene una caracterización de los aspectos técnicos justificados desde el punto de vista de los fabricantes de sistemas de radio altímetros y las bases de sus suposiciones para el problema de coexistencia con 5G
- Ensamble de los esquemas de medidas: CUMPLIDA: Se ha desarrollado a nivel de laboratorio los kits de medición de información y captura de señales en los sistemas de captura móviles en terreno para medir radios altímetros y se ha configurado el hardware y metodología de medición en el laboratorio para medición de los escenarios, igualmente se han determinado los escenarios básicos de simulación y se espera la validación para el contrato con la agencia externa