

6G-INTEGRATION-01

6G-INTEGRATION-01-E9 **INFORME DE ESCENARIOS DE TRANSICIÓN Y** **FINAL PARA LA CONVERGENCIA LEO-5G**

REF CLIENTE
6G-INTEGRATION-01-E9

Refer INSTER
I-3070,1,1,1_0323.2



CONTROL DE FIRMAS Y VALIDACIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	CARGO
PREPARADO	Miguel Ángel Solís		28/06/23	Ingeniero de Innovación y Tecnología
REVISADO	María Graña Varela		28/06/23	Directora de Innovación y Tecnología
APROBADO	Pilar Lobato Raez		28/06/23	Responsable de Calidad

CONTROL DE VERSIONES

EDICIÓN	REVISIÓN	FECHA	NOTAS
1	0		Primera Edición

CONTROL DE MODIFICACIONES

EDICIÓN	REVISIÓN	FECHA	APDO. AFECTADO	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

Ed. 01 Rev. 00

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
3GPP	3rd Generation Partnership Project
5G-A	Advanced 5G
ACU	Antenna Control Unit
B5G	Beyond 5G
DL	Downlink
ESA	Electronically Steerable Antenna
GEO	Geosynchronous Earth Orbit
gNB	next Generation Node B
GNNS	Global Navigation System
INS	Inertial Navigation System
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LEO	Low Earth Orbit
MEO	Medium Earth Orbit
NG-RAN	Next Generation RAN
NTN	Non-Terrestrial Network
OBU	On-Board Unit
RAN	Radio Access Network
SATCOM	Satellite Communications
SOTM	SATCOM On-the-Move
TN	Terrestrial Network
UE	User Equipment

ÍNDICE

1. OBJETO	7
1.1. ALCANCE	7
1.2. REFERENCIAS GENERALES.....	7
2. ESCENARIOS PARA LA CONVERGENCIA 5G-LEO.....	8
2.1. ANTECEDENTES.....	8
2.2. ESCENARIO GENERAL CONSIDERADO PARA 5G-LEO.....	8
2.2.1. ESCENARIO NTN-LEO: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.....	9
EN CUANTO A CAPACIDADES 5G, SE PUEDEN ESPERAR LOS SIGUIENTES VALORES, SEGÚN LAS REFERENCIAS [3] Y [5]:.....	9
2.3. 6G-INTEGRATION-01-CASOS DE USO CONSIDERADOS	10
2.3.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE USO 1: NTN MARÍTIMO SATCOM DE BANDA ANCHA ON-THE-MOVE PARA PATRULLERAS DE SALVAMENTO MARÍTIMO.....	11
2.3.1.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 1	13
2.3.1.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS.....	13
2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE USO 2: NTN FERROVIARIO SATCOM DE BANDA ANCHA ON-THE-MOVE.....	14
2.3.2.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 2	15
2.3.2.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS.....	16
2.3.3. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE USO 3: NTN SATCOM DE BANDA ANCHA ON-THE-MOVE PARA VEHÍCULOS DE EMERGENCIAS, VEHÍCULOS AUTÓNOMOS Y VEHÍCULOS TERRESTRES CONECTADOS EN GENERAL	16
2.3.3.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 3	17
2.3.3.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS.....	18
2.3.4. DESCRIPCIÓN CASO DE USO 4: NTN LEO SATCOM MANPACK.....	19
2.3.4.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 4	20
2.3.4.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS.....	20
3. DESAFÍOS EN LA INTEGRACIÓN DE UNA CONSTELACIÓN LEO EN LA RED 5G .	21
3.1.1.1. EFECTO DOPPLER	22
3.1.1.2. SINCRONIZACIÓN	23
3.2. MEDIDAS EXPERIMENTALES SUGERIDAS DESDE LA PERSPECTIVA DE UN FABRICANTE DE TERMINALES.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Evolución 5G	8
Ilustración 2 Caso de uso 1: NTN LEO Marítimo	11
Ilustración 3 Caso de Uso 1: Digrama de conexionado en el buque	13
Ilustración 4 Caso de Uso 2: NTN LEO-TN ferroviario	14
Ilustración 5 Caso de Uso 3: NTN LEO en vehículos de emergencias	16
Ilustración 6 Caso de Uso 4: NTN SATCOM Manpack	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Referencias Generales	7
Tabla 2 Atributos principales escenario NTN-LEO	9
Tabla 3 Capacidades esperadas en escenario NTN-LEO	10
Tabla 4 Casos de uso y servicios considerados	10

1. OBJETO

1.1. ALCANCE

El alcance de este documento es la identificación de casos de uso y análisis de requerimientos para la integración de redes no terrestres (NTNs) de satélites LEO en la Red de Acceso Radio de Nueva Generación (NG-RAN). Se estudiarán las ventajas y los desafío derivadas de la integración de NTN en NG-RAN en los casos de uso definidos.

1.2. REFERENCIAS GENERALES

REFERENCIA	NORMA/DOCUMENTO	TÍTULO DEL DOCUMENTO
REF-1	PECAL 2110	Requisitos OTAN de Aseguramiento de la Calidad Para el Diseño, Desarrollo y Producción.
REF-2	UNE-EN-ISO-9001	Sistemas de Gestión de Calidad
REF-3	UNE-EN-ISO-14001	Sistemas de Gestión Ambiental
REF-4	PGC 003	Procedimiento de Gestión de Riesgos INSTER
REF-5	PECAL 2070	Proceso OTAN para el Mutuo Aseguramiento Oficial de la Calidad (AOC)
REF-6	001002CON_STD_CA	Contrato
REF-7	2022/0007848	UC3M. 6G-INTEGRATION Sobre 2: Criterios de Adjudicación que Dependen de un Juicio de Valor
REF-9	3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #10 6	Topic summary for NR_NTN_enh_Part1 Mar 2023.
REF-10	ITU-R M.2514-0	Vision, requirements and evaluation guidelines for satellite radio interface(s) of IMT-2020. Sep 2022.
REF-11	3GPP TR22.261	Service requirements for the 5G system (Release 19). Dec 2022.
REF-12	3GPP TR22.822	Study on using Satellite Access in 5G; Stage 1 (Release 16). June 2018.
REF-13	3GPP TR21.917	Summary of Rel-17 Work Items (Release 17). Nov 2021.

Tabla 1: Referencias Generales

2. ESCENARIOS PARA LA CONVERGENCIA 5G-LEO

2.1. ANTECEDENTES

3GPP completó la estandarización de la primera tecnología inalámbrica global de 5G en su versión 15 a mediados de 2018, lo que permitió implementaciones comerciales de 5G en todo el mundo. Desde entonces, 3GPP ha estado trabajando en la evolución de la tecnología 5G en sus Versiones 16 y 17 para mejorar aún más el rendimiento y abordar nuevos casos de uso. La Release 18 supondrá el comienzo de la evolución 5G Advanced (5G-A) y la definición de la RAN se completará en Diciembre de 2023. La versión 17 introdujo el uso de redes no terrestres (NTN) en el estándar, con bandas de frecuencia por debajo de 3 GHz. En la nueva Release 18 se avanzará en el desarrollo de las NTN en 5G, ya en frecuencias por encima de los 10 GHz, donde se utilizan las bandas típicas de las comunicaciones por satélite (bandas de frecuencia Ku y Ka).

En este Release 18 se espera alcanzar los máximos niveles de convergencia entre redes no terrestres y terrestres, suponiendo el punto de partida de lo que se denomina 5G-Advanced, la antesala del 6G.

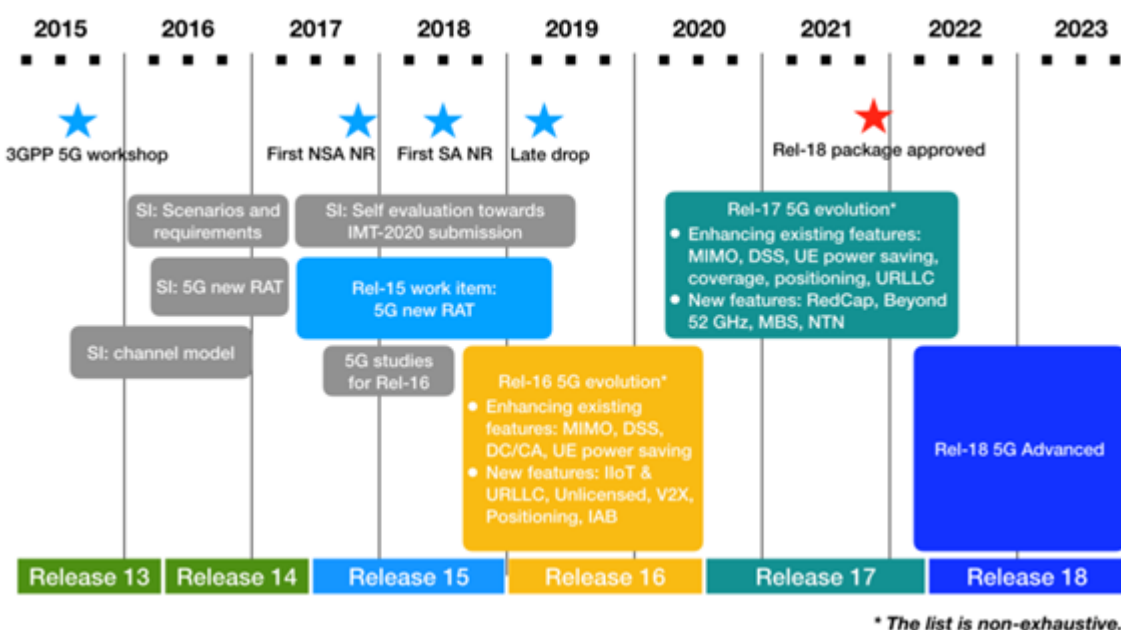


Ilustración 1 Evolución 5G

2.2. ESCENARIO GENERAL CONSIDERADO PARA 5G-LEO

En este escenario se considera la integración de una constelación de satélites LEO que proporciona conectividad 5G de extremo a extremo.

En este apartado se presenta una descripción general del escenario antes de entrar en detalle para cada uno de los casos de uso seleccionados.

Las principales ventajas de considerar este escenario NTN LEO frente a otros escenarios, como el NTN GEO, son las siguientes:

- Baja latencia: los satélites LEO están mucho más cerca de la superficie de la Tierra (1200 Km – 600 Km) en comparación con los satélites GEO (35786 Km), lo que reduce la latencia en más de un orden de magnitud, de 500 ms a menos de 50 ms.
- Cobertura global dado que los satélites de las constelaciones LEO orbitan alrededor de la Tierra (transmisión y recepción multisatélite). Algunas, como OneWeb, utilizan órbitas polares con cobertura en los polos. Además, los ángulos de elevación son mayores que en el escenario GEO, disminuyendo la probabilidad de bloqueo de señal por obstáculos.
- Gran ancho de banda y alta capacidad

2.2.1. ESCENARIO NTN-LEO: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

A continuación se describen de forma genérica las principales características generales del escenario 5G NTN-LEO.

Los principales atributos se pueden resumir en la tabla siguiente:

Atributos Principales	Escenario NTN-LEO
Tipo de órbita y altura de los satélites	LEO, a (1200 Km – 600 Km) de altura
Bandas de frecuencia que se suelen utilizar en el enlace UE-Satélite	Ku band: 10.7 – 12.7 GHz (Downlink), 14.0 – 14.5 GHz (Uplink) Ka band: 19.7 – 21.2 GHz (Downlink), 29.5 – 30.0 GHz (Uplink)
Tipos de terminales	Terminales fijos / Terminales en movimiento (OTM)
Ancho de banda de las portadoras (DL + UL)	Hasta 800 MHz en Downlink y Uplink
Tipo de antena	Antena de apuntamiento electrónico - Electronically Steerable Antenna (ESA)

Tabla 2 Atributos principales escenario NTN-LEO

En cuanto a capacidades 5G, se pueden esperar los siguientes valores, según las referencias [REF 11] y [REF 12]:

Capacidades 5G	Descripción	Valores esperados
Máxima Velocidad de transmisión en Bajada (Downlink)	Velocidad de datos de canal máxima alcanzable en condiciones ideales	Depende del ancho de banda del canal

Capacidades 5G	Descripción	Valores esperados
Máxima Velocidad de transmisión en Subida (Uplink)	Velocidad de datos de canal máxima alcanzable en condiciones ideales	Depende del ancho de banda del canal
Spectral efficiency	Cantidad de datos recibidos o transmitidos sobre un ancho de banda dado con mínimos errores. Hay dos opciones: 1. Backhaul satelital 2. 5G sobre satélite	1. Hasta 5 bps/Hz 2. 5 bps/Hz con beamforming híbrido y 4 TRx por array
Latencia	Tiempo de transición desde estado idle a estado activo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. (section 7.4)	Hasta 140 ms
Fiabilidad	Capacidad para transmitir tráfico con alta probabilidad de éxito	>99.5%

Tabla 3 Capacidades esperadas en escenario NTN-LEO

2.3. 6G-INTEGRATION-01-CASOS DE USO CONSIDERADOS

Existe una creciente demanda en el mercado de servicios 5G en plataformas móviles (barcos, trenes, vehículos terrestres, aviones, etc.). En consecuencia, los casos de uso del proyecto 6G-INTEGRATION-01 se proponen para aplicaciones de movilidad y pueden brindar una amplia gama de beneficios para empresas, individuos y gobiernos. Pueden ayudar a extender la conectividad de alta velocidad a áreas remotas y desatendidas, facilitar la respuesta y recuperación ante desastres, ofrecer continuidad de servicio a las plataformas móviles y admitir una gran variedad de tecnologías y aplicaciones emergentes.

ID del Caso de Uso	Descripción
1	NTN marítimo SATCOM de banda ancha On-the-Move para salvamento marítimo
2	NTN ferroviario SATCOM de banda ancha On-the-Move
3	NTN SATCOM de banda ancha On-the-Move para emergencias, vehículos autónomos y vehículos terrestres conectados en general
4	NTN SATCOM Manpack

Tabla 4 Casos de uso y servicios considerados

Los cuatro casos de usos considerados se enfocan a conseguir una muy alta disponibilidad del servicio. Los tres primeros casos de uso corresponden a las arquitecturas NG-RAN basadas en NTN 3GPP en TR 38.821 ("Soluciones para NR

para admitir redes no terrestres (NTN) (Versión 16")) [REF 12]. En concreto, los tres primeros casos de uso están íntimamente relacionados con el apartado 5.4 de dicho documento: "Continuidad del servicio entre NTN y Redes Terrestres".

2.3.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE USO 1: NTN MARÍTIMO SATCOM DE BANDA ANCHA ON-THE-MOVE PARA PATRULLERAS DE SALVAMENTO MARÍTIMO

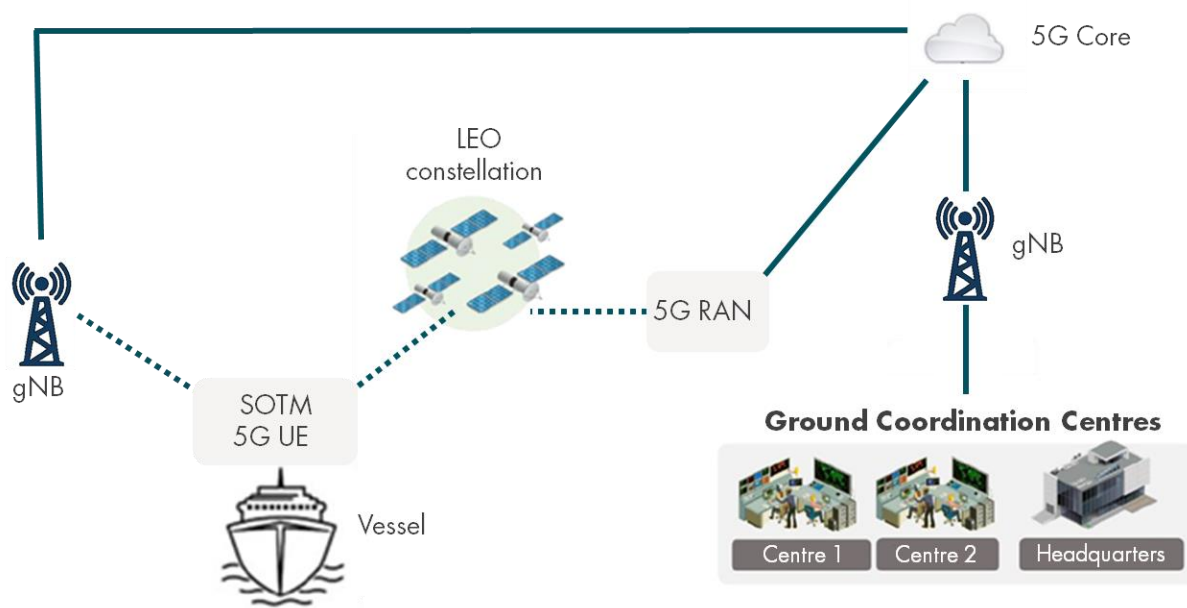


Ilustración 2 Caso de uso 1: NTN LEO Marítimo

Los situaciones de peligro en alta mar, donde se producen las emergencias más complejas, dependen de la rápida respuesta de los medios de salvamento marítimo. La tecnología de transmisión de vídeo de alta definición en vivo aceleraría el proceso de rescate al enviar imágenes en tiempo real de la emergencia. Sin embargo, las emergencias a menudo ocurren fuera de la cobertura TN existente, donde el único medio de comunicación factible es NTN. El uso combinado de los satélites LEO y la red terrestre permite una conectividad de gran ancho de banda suficiente para la transmisión de video de alta definición en tiempo real, con cobertura en todos los océanos de la Tierra, incluso cerca de los polos, donde no hay cobertura con satélites GEO, solo están disponibles ciertas constelaciones de satélites LEO, como la de OneWeb y todo el tráfico cursarse a través de estos satélites. De regreso a la costa, se puede volver a utilizar el enlace terrestre y se puede equilibrar el tráfico entre las redes NTN y la red TN en función de la demanda del servicio y la disponibilidad de los diferentes enlaces.

No solo las unidades de emergencia y las misiones de rescate se beneficiarían de este escenario de conectividad, sino también otros sectores y mercados

dispondrían de los servicios de red más exigentes con alta QoS y disponibilidad. Algunos ejemplos serían los operadores y usuarios de cruceros comerciales, pescadores o investigadores y divulgadores científicos.

Desde la perspectiva de los fabricantes de terminales de usuario, los buques deben tener a bordo un terminal SATCOM-On-The-Move (SOTM) que conste de una apertura de antena orientable electrónicamente (ESA). En este tipo de antenas, el diagrama de radiación es configurable mediante técnicas avanzadas de formación de haces. El escaneo electrónico permite el seguimiento de satélites mediante la configuración electrónica y automática del haz de radiación sin necesidad de elementos mecánicos y también realizar barridos de forma computacional a una velocidad angular de escaneo mucho mayor que la que pueden proporcionar las antenas mecánicas.

El terminal deberá soportar procedimientos de traspaso (handover) entre satélites LEO. Gracias a los algoritmos de beamforming, incluso podría ser posible rastrear más de un satélite al mismo tiempo con haces independientes, siempre y cuando el tamaño de la apertura y el diseño de la radiofrecuencia lo permita. La antena también debe ser altamente directiva para mitigar la interferencia entre satélites. Además las antenas de alta directividad permiten concentrar la mayor parte de la densidad de potencia radiada en las direcciones de interés mediante haces muy estrechos, reduciendo la energía radiada en otras direcciones no deseadas.

Las técnicas de salto de haz y salto de frecuencia aprovechan la alta capacidad, escalabilidad y flexibilidad de la red.

El modo de operación será full duplex, para aprovechar la capacidad completa de la red, aunque por motivos de compatibilidad, en algún caso se podría configurar el modo half-duplex.

El terminal también debe incluir un Sistema de Navegación Inercial (INS), necesario para calcular continuamente la posición y orientación del terminal en aplicaciones de movilidad. En base a estos datos, la antena puede ejecutar algoritmos de apuntamiento para dirigir el haz en la dirección correcta, adaptándolo tanto al movimiento del satélite como de la antena.

La Ilustración 2 muestra una arquitectura de red de alto nivel para este caso de uso.

La siguiente Ilustración muestra el equipamiento y el diagrama de conexiones en el buque para este caso de uso:

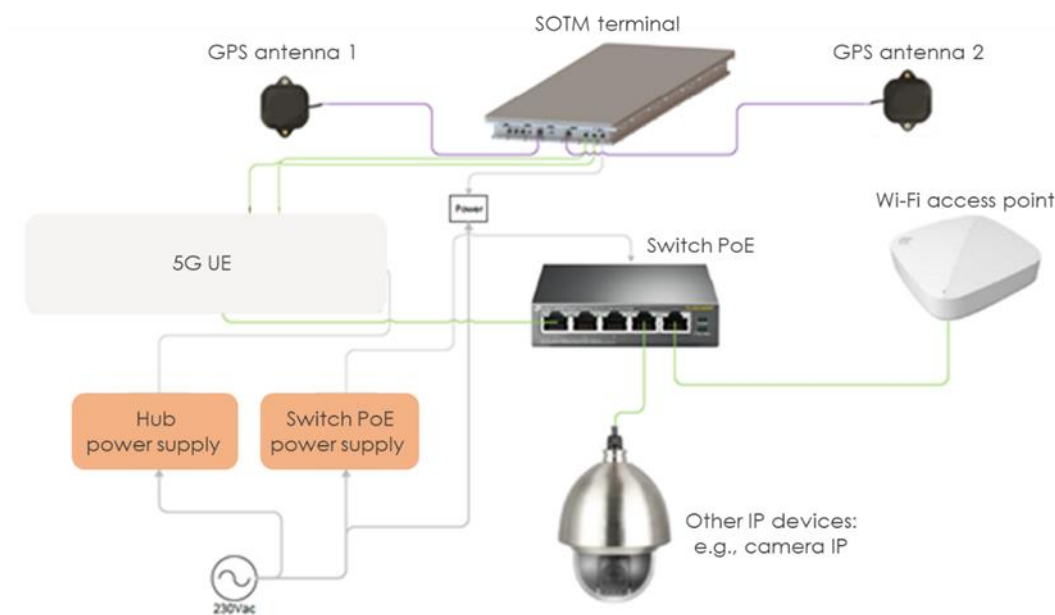


Ilustración 3 Caso de Uso 1: Diagrama de conexión en el buque

2.3.1.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 1

Este caso de uso es muy relevante desde el punto de vista de la conectividad ubicua en el ámbito marítimo. Este entorno hostil a menudo incluye operaciones autónomas, aisladas y con imposibilidad de acceder a una infraestructura de red terrestre. Las redes NTN permiten abordar el problema de la falta de comunicación marítima utilizando comunicaciones satelitales LEO para aplicaciones en tiempo real proporcionando cobertura global incluso, en alguna costelación, en zonas no cubiertas por los satélites GEO, como los polos terrestres.

2.3.1.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS

- Operadores 5G
- Proveedores de servicios de telecomunicaciones
- Operadores de satélite
- Salvamento Marítimo
- Empresas pesqueras
- Compañías de cruceros
- Grupos de expedición marítima
- Empresas de equipos marítimos
- Usuarios de servicios marítimos
- Organizaciones de estándares de telecomunicaciones

2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE USO 2: NTN FERROVIARIO SATCOM DE BANDA ANCHA ON-THE-MOVE

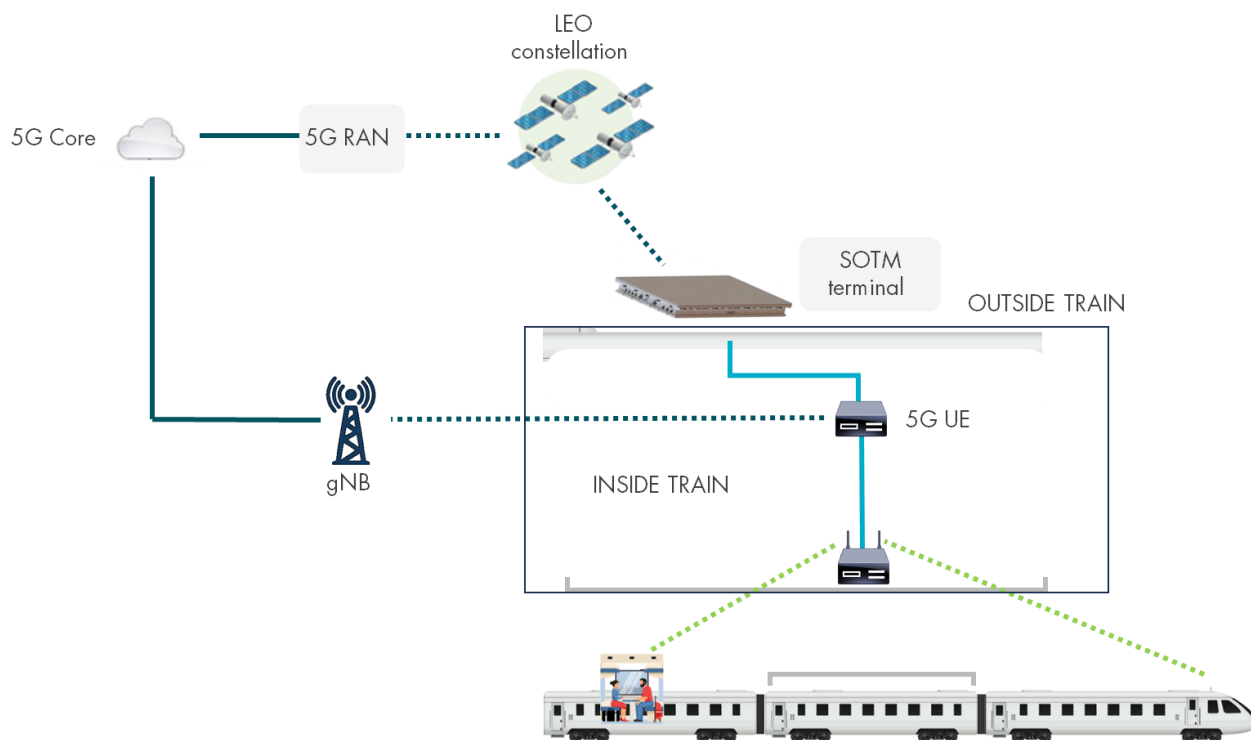


Ilustración 4 Caso de Uso 2: NTN LEO-TN ferroviario

Los trenes de larga distancia circulan la mayor parte del tiempo fuera de la cobertura TN existente. Durante estos períodos los servicios de comunicación son provistos por la cobertura de NTN, en su mayoría por satélites GEO y LEO. Las condiciones del trazado en tierra de las vías ferroviarias determinan la cobertura de los satélites, siendo más limitada la cobertura de los satélites GEO debido a los bajos ángulos de elevación, menores de 30° en las latitudes europeas. El enlace con los satélites GEO se ve interrumpido en numerosas ocasiones por riscos, terraplenes y cerros en la dirección del satélite. Las constelaciones LEO brindan una mejor cobertura en estas situaciones, ya que los ángulos de elevación van de 90° a 30° .

La alta disponibilidad que proporciona una red NTN LEO en este caso de uso permite brindar múltiples servicios 5G a los pasajeros, operadores ferroviarios y operadores de infraestructura.

Algunos ejemplos de posibles servicios prestados por este tipo de conectividad de banda ancha y acceso a internet durante todo el trayecto serían los siguientes:

- Conectividad de pasajeros a bordo

- Servicios para la gestión del operador ferroviario (mantenimiento, inventario de mercancías (IoT), redundancia de sistemas de comunicación)

Aplicaciones y servicios del propio tren:

- Servicios de Información, Comunicaciones y Vigilancia para el personal de operaciones y mantenimiento
- Seguimiento y Control de material rodante
- Servicios de localización de trenes y mercancías (seguridad y logística)
- Copia de seguridad de los sistemas de comunicación existentes
- Aplicaciones de infraestructura:
- Seguridad en carreteras y pasos a nivel
- Informe de incidencias y alertas en tiempo real
- Monitoreo remoto de activos (infraestructura inteligente)
- Comunicaciones para el personal de operaciones y mantenimiento

El terminal que se instalará en el tren para este caso de uso debe ser muy similar al descrito en el caso de uso anterior: un terminal SOTM basado en una apertura de antena ESA de alta directividad. En este caso también se necesita un INS (Inertial Navigation System) para adaptar la dirección de orientación al movimiento del tren. Algunos de los mayores retos a los que se debe enfrentar esta terminal es el cambio de frecuencia provocado por el efecto Doppler debido a la alta velocidad de los trenes de última generación y los múltiples obstáculos que pueden bloquear la cobertura, como montañas o vaguadas.

El equipo y el diagrama de conexión en el tren es similar al que se muestra en la Ilustración 3 para el caso de uso 1.

2.3.2.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 2

El interés de este caso de uso radica en la necesidad de disponer de una conexión a internet estable y de calidad en los viajes en tren de media y larga distancia. A través de una arquitectura flexible es posible garantizar una alta disponibilidad y continuidad del servicio en condiciones de movilidad, equilibrando el tráfico entre los diferentes enlaces (LEO y TN) en función de las demandas de la aplicación y la cobertura disponible.

Múltiples estudios anteriores destacan lo atractivo que es este caso de uso. De hecho, en 3GPP TR 38.821, este caso de uso aparece como un ejemplo de continuidad del servicio, utilizando un relé UE instalado en un vehículo para proporcionar un alto rendimiento.

2.3.2.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS

- Operadores 5G
- Proveedores de servicios de telecomunicaciones
- Operadores de satélite
- Empresas de transporte ferroviario
- Empresas de infraestructura ferroviaria
- Tren de pasajeros
- Organizaciones de estándares de telecomunicaciones

2.3.3. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE USO 3: NTN SATCOM DE BANDA ANCHA ON-THE-MOVE PARA VEHÍCULOS DE EMERGENCIAS, VEHÍCULOS AUTÓNOMOS Y VEHÍCULOS TERRESTRES CONECTADOS EN GENERAL

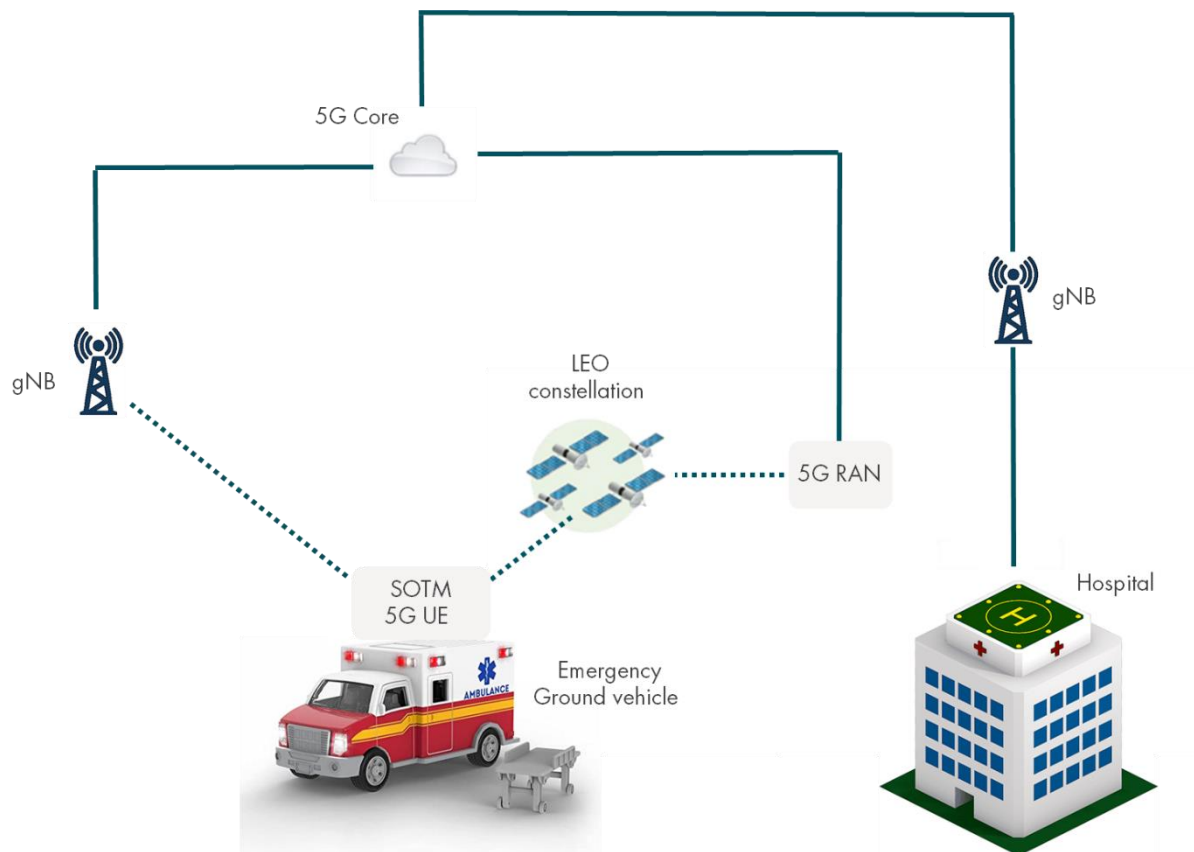


Ilustración 5 Caso de Uso 3: NTN LEO en vehículos de emergencias

Este caso de uso también es un claro ejemplo de cómo las redes NTN son el mejor y, probablemente, el único recurso para establecer enlaces de comunicación confiables en áreas donde hay una falta de infraestructura o para recuperar la conectividad en áreas donde la red TN ha sido deshabilitada

como un resultado de un desastre natural, como podría ser una región afectada por la erupción de un volcán, un terremoto o un tsunami. En estas situaciones, el papel del segmento no terrestre es crucial para restaurar las redes 5G y asegurar la comunicación entre las unidades de socorro y sus sedes, mejorando la coordinación de los equipos de emergencia y manteniendo a salvo al mayor número de ciudadanos.

Este caso de uso también se aplica al campo de los vehículos autónomos y conectados. Estos vehículos a menudo están equipados con múltiples sensores y dispositivos IP (radares, cámaras de visión, GPS, unidades inerciales y una unidad a bordo (OBU) para comunicarse con el entorno a través de redes móviles) y necesitan conectividad continua y cobertura global para soportar un subconjunto de servicios de computación perimetral, relacionados con el conocimiento de la situación, el apoyo a la toma de decisiones, las tareas distribuidas de IA, etc.

En cuanto al equipo a bordo del vehículo terrestre, aquí también se necesita un terminal SATCOM On-The-Move con una antena ESA, una Unidad de Control de Antena capaz de realizar el apuntamiento en base a la información proporcionada por la red satelital y un INS integrado, además de implementar el protocolo de comunicación necesario con la constelación. Las principales características que debe tener el terminal se enumeran a continuación:

- Escaneo electrónico
- Soporte para el Handover entre satélites LEO
- Alta directividad
- Capacidades de salto de haz y salto de frecuencia
- Funcionamiento Full-Duplex
- INS incluido

El equipo y el diagrama de conexión que se muestra en la Ilustración 3 también es adecuado para este caso de uso.

2.3.3.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 3

Este caso de uso refleja la importancia de las NTN para proporcionar comunicaciones de acceso directo en áreas donde la infraestructura de la red terrestre funciona mal, no se puede implementar fácilmente o ha sido dañada por un desastre natural. Este caso de uso tiene un impacto directo en el bienestar de la sociedad, ya que asegura la continuidad y disponibilidad del servicio, lo que permite agilizar las operaciones de rescate y la prestación de socorro en caso de emergencia. Además, el avance en la definición de los estándares NTN y su integración en las redes 5G/B5G/6G de próxima generación

puede mejorar las operaciones de emergencia e incorporar nuevas aplicaciones que demandan mayor capacidad y ancho de banda (por ejemplo, video de alta definición, comunicaciones de voz en tiempo real, etc.).

La necesidad y utilidad de las comunicaciones por satélite es evidente, teniendo en cuenta las ventajas en el despliegue sencillo y rápido de equipos terrestres, la cobertura global y continua y la resiliencia de la arquitectura, ya que los satélites no dependen de la infraestructura local para prestar servicios localmente.

2.3.3.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS

- Operadores 5G
- Proveedores de servicios de telecomunicaciones
- Operadores de satélite
- Unidades de emergencia: sanidad, bomberos, protección civil, guardas forestales, etc.
- Fabricantes de vehículos terrestres y partes interesadas
- Actores de vehículos conectados y autónomos
- Empresas de integración de vehículos de equipos de telecomunicaciones
- Rescatistas y sobrevivientes
- Ciudadanía y sociedad en general
- Organizaciones de estándares de telecomunicaciones

2.3.4. DESCRIPCIÓN CASO DE USO 4: NTN LEO SATCOM MANPACK

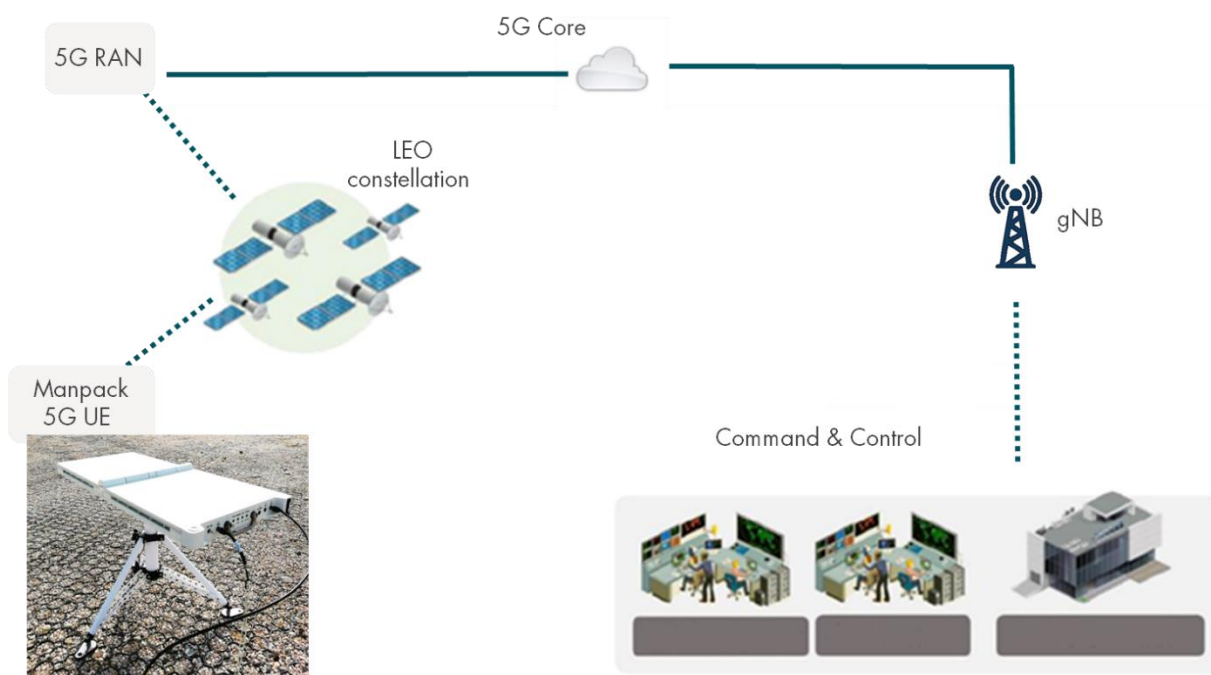


Ilustración 6 Caso de Uso 4: NTN SATCOM Manpack

Este caso de uso es el más versátil de los presentados hasta ahora, ya que permite acceder a los servicios y ventajas de los casos de uso anteriores utilizando un terminal portátil que puede ser transportado de forma fácil por una persona en una mochila. Su tamaño y peso permite también embarcarlo en la cabina de un avión comercial y trasladarlo a cualquier lugar del mundo en el que se requiera una operación rápida y fiable.

Este tipo de terminales han sido utilizados típicamente por equipos de operaciones especiales en Defensa, pero también proporcionan un gran servicio para cualquier unidad de emergencias que se tenga de desplazar a zonas inaccesibles para los vehículos.

La principal diferencia con los casos de uso anteriores es la operación On-The-Pause, frente a los SOTM que permitían la conexión en movimiento.

El UE 5G integrado en el terminal no necesita operar en condiciones de movilidad, por lo que se evitan muchos de los problemas de sincronismo en la red, y tampoco es necesaria la integración de un INS. El terminal mantiene el apuntamiento de forma automática utilizando la información proveniente de sensores inerciales sencillos, acelerómetros, y un sistema que proporcione el Heading con una precisión suficiente, como podría ser un receptor de dual. Además, podría incluir un punto de acceso WiFi integrado para facilitar la conexión a la red a los equipos desplegados en el campo de operaciones.

Por tanto, el sistema incluye una antena ESA, una Unidad de Control de Antena capaz de realizar el apuntamiento en base a la información proporcionada por

la red satelital y unos sensores inerciales sencillos, además de implementar el protocolo de comunicación necesario con la constelación. Las principales características que debe tener el terminal se enumeran a continuación:

- Escaneo electrónico
- Soporte para el Handover entre satélites LEO
- Alta directividad
- Capacidades de salto de haz y salto de frecuencia
- Funcionamiento Full-Duplex
- IMU y GNSS dual incluidos
- Punto de Acceso WiFi

2.3.4.1. JUSTIFICACIÓN DEL CASO DE USO 4

La facilidad e inmediatez del despliegue en este caso de uso, mientras se mantienen la gran capacidad de tráfico y cobertura global de la constelación LEO indican su utilidad para múltiples aplicaciones. Desde operaciones especiales críticas o emergencias en zonas inaccesibles, a despliegues temporales de infraestructura de red para eventos deslocalizados, o mantener la independencia de la infraestructura terrena en desplazamientos o viajes.

2.3.4.2. PARTES INTERESADAS/STAKEHOLDERS

- Operadores 5G
- Proveedores de servicios de telecomunicaciones
- Operadores de satélite
- Unidades de emergencia: sanidad, bomberos, protección civil, guardas forestales, etc.
- Unidades de Operaciones Especiales
- Rescatistas y sobrevivientes
- Ciudadanía y sociedad en general
- Organizaciones de estándares de telecomunicaciones

3. DESAFÍOS EN LA INTEGRACIÓN DE UNA CONSTELACIÓN LEO EN LA RED 5G

El hecho de introducir una constelación de baja órbita en la red 5G implica una serie de ventajas, como la cobertura global, pero también grandes desafíos técnicos y también regulatorios. Entre los problemas generales de esta integración se pueden mencionar los siguientes:

1. Latencia. Aunque las constelaciones LEO presentan una latencia mucha más reducida que la de los satélites GEO, todavía es un valor alto comparado con las latencias típicas 5G, debido al tiempo de propagación y a los retardos en el procesamiento de los datos. Esta latencia adicional puede afectar a aplicaciones que requieren una interacción en tiempo real, como la videoconferencia en actividades críticas o la conectividad en vehículos autónomos. Minimizar esta latencia es crucial para obtener una experiencia de usuario satisfactoria.
2. Interferencia: El denso despliegue de satélites LEO crea un alto potencial para generar interferencias. La coordinación y gestión del espectro de frecuencias es fundamental para evitar interferencias entre los satélites LEO, GEO y las redes terrestres. Deben implementarse técnicas sólidas de mitigación de interferencias, como formación de haces avanzada y modulación adaptativa.
3. Handovers o traspasos entre satélites: Los handovers continuos entre los satélites LEO y también con las redes terrestres plantean un desafío. A medida que los usuarios se mueven entre áreas cubiertas por satélites e infraestructura terrestre, se deben desarrollar mecanismos de traspaso eficientes para garantizar la conectividad ininterrumpida y la continuidad del servicio.
4. Arquitectura de la red: la integración de las constelaciones de satélites LEO requiere un estudio muy completo de la arquitectura de la red para adaptarse a las características únicas de las comunicaciones por satélite. Esto incluye el desarrollo de arquitecturas de red híbridas que permitan una integración fluida entre las redes satelitales y terrestres mientras se optimizan los mecanismos de enrutamiento, conmutación y control.
5. Infraestructura y Costes: El despliegue y mantenimiento de constelaciones de satélites LEO requiere una inversión significativa. Implica lanzar y mantener una gran cantidad de satélites, establecer estaciones terrestres y construir la infraestructura necesaria para respaldar la red. Superar estos desafíos de infraestructura y administrar los costes es fundamental para la integración exitosa de los satélites LEO en las redes 5G.

6. Consideraciones regulatorias: la integración de constelaciones de satélites LEO en redes 5G implica manejar marcos regulatorios complejos. La concesión de licencias, la asignación de espectro, la coordinación de intervalos orbitales y los acuerdos internacionales juegan un papel importante para garantizar el despliegue y la operación exitosos de los satélites LEO para los servicios 5G.
7. Gestión y orquestación de redes: la gestión y orquestación efectivas de los recursos combinados de los satélites LEO y las redes terrestres es crucial. Esto incluye la optimización del enrutamiento del tráfico, el equilibrio de carga y la planificación de la red para garantizar la utilización eficiente de los recursos disponibles y maximizar la calidad del servicio.

Desde el punto de vista del fabricante de terminales, es necesario mencionar además los siguientes desafíos técnicos:

- Efecto Doppler
- Sincronización

3.1.1.1. EFECTO DOPPLER

En el contexto de una constelación de satélites LEO en una red 5G, el efecto Doppler puede tener implicaciones para el sistema de comunicación. Así es como puede afectar el sistema:

- Cambio de frecuencia: el efecto Doppler provoca un cambio en la frecuencia de las señales recibidas de los satélites LEO debido a su movimiento relativo con respecto a los terminales de usuario en tierra. A medida que el satélite se mueve hacia el usuario, la frecuencia recibida parece más alta (desplazamiento hacia arriba) y, a medida que el satélite se aleja, la frecuencia recibida aparece más baja (desplazamiento hacia abajo). Este cambio de frecuencia debe compensarse para mantener una recepción de señal precisa.

-Sincronización: el efecto Doppler también puede afectar el cronometraje y la sincronización en el sistema. Como el movimiento del satélite provoca un cambio en la frecuencia de la señal recibida, puede introducir errores en la estimación del tiempo, especialmente para los sistemas que dependen de un tiempo preciso, como la sincronización entre varias estaciones base o la transmisión multipunto coordinada. Deben emplearse técnicas de compensación adecuadas para tener en cuenta los errores de temporización inducidos por Doppler.

- Seguimiento y adquisición de señales: la frecuencia cambiante de la señal del satélite debido al efecto Doppler puede dificultar el seguimiento y la adquisición de señales. Los terminales de usuario deben rastrear y fijarse continuamente en la señal del satélite, teniendo en cuenta las variaciones de frecuencia causadas

por el movimiento del satélite. Se requieren algoritmos avanzados de procesamiento de señales y mecanismos de seguimiento para mantener conexiones confiables y estables.

Para mitigar los efectos del efecto Doppler en una constelación de satélites LEO dentro de una red 5G, se pueden emplear varias técnicas. Estas incluyen esquemas de modulación y codificación adaptables, algoritmos avanzados de procesamiento de señales, mecanismos de seguimiento y compensación de frecuencia y técnicas sofisticadas de estimación y ecualización de canales. Al incorporar estos métodos en el diseño del sistema, se puede minimizar el impacto del efecto Doppler, lo que garantiza una comunicación confiable y de alta calidad entre los satélites LEO y los terminales de usuario en una red 5G.

3.1.1.2. SINCRONIZACIÓN

La integración de una constelación de satélites de órbita terrestre baja (LEO) en una red 5G presenta desafíos de sincronización. La sincronización es fundamental en las redes 5G para garantizar la sincronización precisa, la asignación eficiente de recursos y la transmisión coordinada entre las estaciones base y los dispositivos de los usuarios. Estos son algunos problemas de sincronización que pueden surgir al usar una constelación LEO en una red 5G:

- Precisión y estabilidad del reloj: lograr una sincronización precisa requiere relojes altamente precisos y estables en toda la red. Sin embargo, los relojes en los satélites LEO y las estaciones base terrestres pueden tener diferentes características, incluida la deriva del reloj y la estabilidad de la frecuencia. Mantener relojes sincronizados entre estos dos componentes puede ser un desafío debido a las variaciones causadas por factores ambientales y diferentes tecnologías de reloj utilizadas en satélites e infraestructura terrestre.

- Variaciones en el retardo de la propagación: las distancias variables entre los satélites LEO y los dispositivos de usuario introducen variaciones en el retardo de propagación. A medida que los satélites se mueven, la distancia entre el satélite y el terminal de usuario cambia continuamente, lo que provoca que los retardos en el tiempo de vuelo fluctúen. Estas variaciones pueden afectar la precisión de la sincronización e introducir errores de sincronización que deben compensarse.

- Efecto Doppler: como se mencionó anteriormente, el efecto Doppler provoca cambios de frecuencia debido al movimiento relativo entre los satélites LEO y los terminales de usuario. Estos cambios de frecuencia pueden afectar la estimación del tiempo e introducir errores en la sincronización. La compensación del efecto Doppler es crucial para mantener una sincronización precisa en presencia de movimiento satelital.

- Handovers de satélites: en una constelación de satélites LEO, los terminales de usuario pueden experimentar frecuentes Handovers de satélites a medida que se mueven a través de diferentes áreas de cobertura de satélites. La

coordinación de estos traspasos mientras se mantiene la sincronización agrega complejidad al sistema. Deben diseñarse mecanismos de traspaso continuos para garantizar una sincronización ininterrumpida durante estas transiciones.

- Escalabilidad y tamaño de la red: las constelaciones de satélites LEO involucran una gran cantidad de satélites, que potencialmente abarcan un área amplia. La sincronización de una red tan grande con numerosos satélites e infraestructura terrestre se vuelve cada vez más complicado a medida que la red crece. Garantizar la sincronización en todos los elementos de la red mientras se gestiona la escalabilidad es un reto que debe ser abordado.

Para abordar estos desafíos de sincronización, se pueden emplear varias técnicas:

-Intercambio preciso de marcas temporales: el intercambio de marcas temporales precisas entre los satélites LEO y las estaciones base terrestres permite la sincronización. Para ello es preciso implementar protocolos y algoritmos para una sincronización de tiempo precisa, como el Protocolo de tiempo de precisión (PTP) o protocolos de sincronización específicos de satélites.

- Sincronización diferencial: las técnicas de sincronización diferencial se pueden utilizar para compensar la desviación del reloj y las variaciones de frecuencia entre los satélites LEO y las estaciones base terrestres. Al comparar y ajustar las referencias de tiempo, estas técnicas ayudan a mantener la precisión de la sincronización.

-Arquitecturas de red híbrida: la implementación de una arquitectura de red híbrida que combine satélites LEO e infraestructura terrestre puede mejorar la sincronización. Al aprovechar las fortalezas de ambos sistemas y emplear los mecanismos de sincronización adecuados, se puede llegar a mejorar la precisión en la sincronización.

-Procesamiento avanzado de señales: las técnicas avanzadas de procesamiento de señales, como el filtrado adaptativo y la ecualización, pueden ayudar a mitigar los errores de sincronización introducidos por las variaciones del retardo de propagación y el efecto Doppler. Estas técnicas estiman y compensan las discrepancias de tiempo causadas por estos factores.

-Gestión de sincronización de red: una gestión de sincronización de red eficiente es esencial para manejar traspasos de satélite, garantizar transiciones de sincronización sin problemas y mantener la precisión de sincronización durante el escalado de la red. Esto implica diseñar algoritmos y protocolos de sincronización robustos que puedan manejar la naturaleza dinámica de las constelaciones de satélites LEO.

Por tanto, para abordar los problemas de sincronización en una constelación de satélites LEO dentro de una red 5G se requiere una combinación de hardware,

software y soluciones de gestión de red. Los esfuerzos continuos de investigación y estandarización son cruciales para desarrollar técnicas de sincronización optimizadas adaptadas a las características únicas de los despliegues de satélites LEO en redes 5G.

3.2. MEDIDAS EXPERIMENTALES SUGERIDAS DESDE LA PERSPECTIVA DE UN FABRICANTE DE TERMINALES

Como fabricante de terminales satelitales involucrado en la integración de una constelación de satélites LEO en una red 5G, INSTER sugiere realizar las siguientes medidas experimentales para garantizar la integración y el rendimiento óptimo del prototipo de terminal diseñado:

1. Adquisición y seguimiento de señales: evaluación de la capacidad del terminal para adquirir y rastrear señales de satélites LEO. Se medirá el tiempo necesario para adquirir señales satelitales, la precisión del seguimiento y la robustez contra la pérdida de señal o las interrupciones durante los traspasos entre satélites.
2. Compensación Doppler: Se verificará la efectividad de las técnicas de compensación Doppler en el terminal. Se medirá la capacidad del terminal para estimar con precisión y compensar el efecto Doppler causado por el movimiento relativo entre los satélites y el terminal.
3. Latencia y retardos: medida de la latencia y el retardo introducidos por el enlace de comunicación por satélite LEO. Evaluación del rendimiento del terminal en aplicaciones en tiempo real, como transmisión de video, juegos y voz sobre IP (VoIP).
4. Estimación y ecualización de canales: evaluación de la capacidad del terminal para estimar y ecualizar las características del canal para los enlaces satelitales LEO. Medida de la precisión de los algoritmos de estimación de canales en escenarios dinámicos y evaluación del rendimiento de la ecualización para garantizar una comunicación confiable y de alta calidad.
5. Evaluación del handover: pruebas de rendimiento del terminal durante las transiciones entre satélites LEO. Medidas de la latencia, la pérdida de paquetes y la continuidad del servicio durante los traspasos para garantizar una conectividad ininterrumpida y transiciones fluidas entre satélites.
6. Correcto funcionamiento de la antena: Medida de la ganancia de la antena, el diagrama de radiación y el ancho del haz para garantizar una recepción óptima de la señal desde diferentes posiciones del satélite. También evaluación del seguimiento, o capacidad de la antena para mantener una conexión estable y de alta calidad durante el movimiento

del satélite. En este caso, se medirán en cámara anecoica los diferentes diagramas de radiación en todas las direcciones del rango.

7. Mitigación de interferencias: medida de la capacidad del terminal para mitigar la interferencia de satélites adyacentes o redes 5G terrestres. Medida de las capacidades de rechazo de interferencias del terminal y evaluación de su rendimiento en entornos abarrotados o congestionados.
8. Consumo de energía: medida del consumo de energía del terminal durante la comunicación satelital LEO. Evaluación de la eficiencia energética de los componentes del terminal, incluyendo los paneles radiantes, el transceptor de radio y las unidades de procesamiento, para optimizar el uso de energía.
9. Cumplimiento del protocolo de red: verificar el cumplimiento del terminal con los protocolos de red específicos para la integración de constelaciones de satélites LEO en una red 5G. Probar que el terminal se cumple los estándares y protocolos para la sincronización, la gestión de traspasos y la integración perfecta en la red.
10. Medidas de la experiencia del usuario: realización de pruebas de experiencia del usuario para evaluar el rendimiento general y la satisfacción de los usuarios finales con los terminales satelitales LEO integradas en una red 5G. Estudiar factores como la calidad de las llamadas, las tasas de transferencia y pérdida de paquetes y el rendimiento general de la aplicación para identificar cualquier área de mejora.