

PROPUESTA DE MEOLUT PERUANO PARA EL SISTEMA SATELITAL MEOSAR DE BÚSQUEDA Y RESCATE INTERNACIONAL

Mayor FAP Briceño Velásquez, Berly Jesús

RESUMEN

Desde 1982, el programa COSPAS-SARSAT ha rescatado un número creciente de personas cada año, utilizando los satélites como su principal herramienta. El programa explora constantemente tecnologías avanzadas y nuevos métodos para servir a la comunidad global de usuarios actuales y futuros. La puesta en funcionamiento de satélites de órbita media con carga útil para búsqueda y rescate, denominada MEOSAR, promete la vigilancia continua de las personas en peligro que activan las radiobalizas de emergencia. Considerando el esfuerzo realizado por los países miembros para desarrollar la capacidad de búsqueda y rescate (SAR) espacial en satélites de navegación, es pertinente que el segmento terrestre de Perú incremente el área de cobertura mediante la implementación de un nuevo sistema llamado MEOLUT.

El presente artículo de investigación busca ampliar el conocimiento para mejorar el sistema peruano actual, proporcionando datos y análisis del futuro MEOLUT, con el fin de sumar esfuerzos para la implementación del segmento terrestre conocido como estación local o por su nombre en inglés Local User Terminal (LUT) y apoyar así la seguridad de los usuarios marítimos y aeronáuticos a nivel nacional, regional y global.

Durante la investigación, se evaluó la factibilidad de utilizar una ubicación dentro de las instalaciones del actual LEOLUT Callao en Perú, con el propósito de implementar lo que sería un nuevo sistema llamado MEOLUT Callao. Así mismo, se realizó el análisis de cobertura para la constelación de satélites BeiDou y Galileo MEOSAR. Por último, se analizó el enlace descendente para la adquisición de señales SAR, concluyendo que la ubicación propuesta cumple con los requisitos para materializar el MEOLUT Callao.

Palabras Clave: Cospas-Sarsat, MEOSAR, MEOLUT Callao

ABSTRACT

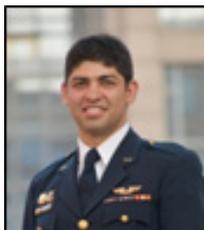
Since 1982, the COSPAS-SARSAT program has been rescuing an increasing number of people every year, using satellites as its main tool. The program constantly explores advanced technologies and new methods to serve the global community of current and future users. The operationalization of Medium Orbital Satellites with search and rescue (SAR) payload, called MEOSAR, promises the continuous surveillance of the people in danger that activate emergency beacons. Considering the effort made by member countries to develop the space SAR capacity in navigation satellites, it is pertinent that the terrestrial segment of Peru increase the system coverage area through the implementation of MEOLUT's.

The present research seeks to expand the knowledge to improve the current Peruvian system, providing data and analysis of the planned MEOLUT Callao, in order to contribute with the efforts to implement the local user terminal and support the safety of maritime and aviation users at national, regional and global levels.

During the research, it was evaluated the feasibility of using Peruvian LEOLUT Callao location to implement the new MEOLUT system. Coverage analysis was performed for Beidou and Galileo MEOSAR satellites constellation, as well as the downlink budget analysis, signal acquisition and tracking, concluding that the proposed location meet the requirements for the planned MEOLUT Callao.

Keywords: Cospas-Sarsat, MEOSAR, MEOLUT CALLAO

RESUMEN DE HOJA DE VIDA



MAYOR FAP BRICEÑO VELÁSQUEZ BERLY JESÚS, natural de la ciudad de Arequipa, graduado de la Escuela de Oficiales de la Fuerza Aérea del Perú (EOFAP) como bachiller en Ciencias de la Administración Aeroespacial, obtuvo la licenciatura en Administración de Empresas otorgado por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), así mismo

obtuvo el grado de Magister en Ingeniería con la especialidad de Ciencia y Tecnología Electrónica aplicado a tecnología espacial otorgado por la prestigiosa Universidad de Aeronáutica y Astronáutica de Pekín (北京航空航天大学), actualmente cursando estudios en la Maestría de Ciencias Militares de la Escuela Superior de Guerra del Ejército del Perú (ESGE); en el área operativa de su carrera ha sido calificado como piloto de helicóptero en el sistema de armas MI-17/171SH, de igual forma ha sido calificado como piloto instructor y piloto de prueba en el sistema S-300C. A lo largo de su carrera ha desarrollado diferentes operaciones aéreas en diversos lugares del territorio nacional, es debido a una de estas operaciones, conocida como operaciones de Búsqueda y Rescate (SAR) que nace su interés por desarrollar y enfocar su investigación referente al sistema SAR Peruano, enfocando el siguiente artículo con la finalidad de aportar al conocimiento del sistema SAR y su funcionamiento próximo durante los años venideros.

INTRODUCCIÓN

El Programa Internacional COSPAS-SARSAT es un sistema de distribución de información y detección de alertas de socorro de Búsqueda y Rescate (SAR) basado en satélites. Concebido como un sistema internacional de búsqueda y rescate humanitario, y constituido como una organización intergubernamental desde 1982. Para lograr su objetivo, 45 participantes colaboran con tres organizaciones reconocidas; la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

El objetivo del programa COSPAS-SARSAT es “reducir, en la medida de lo posible, las demoras en la provisión de alertas de socorro a los servicios SAR, el tiempo requerido para localizar un socorro y brindar asistencia que tenga un impacto directo en la probabilidad de supervivencia de un persona en peligro en el mar o en tierra” (Cospas-Sarsat, 2014). El segmento espacial del sistema COSPAS-SARSAT se diseñó primero en base a dos tipos de satélites, llamados LEOSAR y la constelación GEOSAR debido a la órbita que usaban y su carga útil SAR. Para mejorar y asegurar la cobertura global continua por parte del sistema, el segmento espacial se ha ampliado en los últimos años para incluir una constelación MEOSAR. La constelación MEOSAR se basa en un sistema de navegación por satélite global (GNSS) que lleva un transpondedor de búsqueda y rescate. Estas constelaciones de satélites de órbita media están actualmente en funcionamiento y envían alertas de radiobalizas de socorro al segmento terrestre de COSPAS-SARSAT para su procesamiento.

El segmento terrestre está compuesto principalmente por Centros de Misión y Control (MCC) y sus Terminales de Usuario Local (LUT) asociadas, así como Centros de Coordinación de Rescate (RCC) y Punto de Contacto SAR (SPOC). El componente del segmento terrestre llamado Local User Terminal (LUT) rastrea los satélites SAR que recopilan sus señales y procesan las alertas de radiobalizas de socorro. Los LUTs se distribuyen a las entidades de Búsqueda y Salvamento que se encargan de la intervención de salvamento.

A partir de diciembre de 2016, la 57va sesión del Consejo COSPAS-SARSAT decidió iniciar la Capacidad Operacional Temprana (EOC) para MEOSAR que consiste en el uso operacional de los datos de alerta proporcionados por la combinación del segmento espacial MEOSAR y el segmento terrestre MEOLUT, y MCC (Cospas-Sarsat Council, 2016).

En esta secuencia de eventos y siendo Perú parte del programa COSPAS-SARSAT, el sistema de búsqueda y rescate peruano tiene como una de las principales prioridades para el segmento terrestre peruano el de adicionar el MEOLUT Callao (International Cospas-Sarsat Programme, 2014).

En esta investigación, se analizó la viabilidad del MEOLUT peruano en función de su posible ubicación, relacionada con la visibilidad respecto de los satélites MEOSAR, el cálculo de enlace descendente, la adquisición y seguimiento de señales recibidas.

Inicialmente, se realizó el cálculo de enlace de acuerdo a los parámetros encontrados en la ubicación planeada, para calcular la visibilidad respecto a los satélites se usó el programa STK, generando un comparativo para la adquisición y el seguimiento como instrumento de consulta durante la implementación de MEOLUT Callao.

EVOLUCIÓN DEL SISTEMA

De acuerdo a lo referido brevemente en el capítulo anterior, el COSPAS-SARSAT estaba compuesto originalmente por satélites LEO, por lo que el segmento espacial del sistema se denominó sistema LEOSAR (Figura 1).

Este sistema calcula la ubicación de las radiobalizas de socorro utilizando el efecto Doppler sobre las señales recibidas de las balizas. Sin embargo, debido a los patrones de la órbita de los satélites, la cobertura no era continua y era posible que hubiera retrasos entre la activación de la radiobaliza y la generación de un mensaje de advertencia. Por ello, en 1998, luego de varios años de pruebas, COSPAS-SARSAT decidió ampliar el sistema LEOSAR, incorporando formalmente instrumentos SAR para la detección de frecuencia de 406 MHz en satélites de órbita geostacionaria. Cada satélite GEO proporciona una cobertura continua para la región geográfica definida

por su posición, reduciendo los retrasos de detección asociados con el sistema LEOSAR.

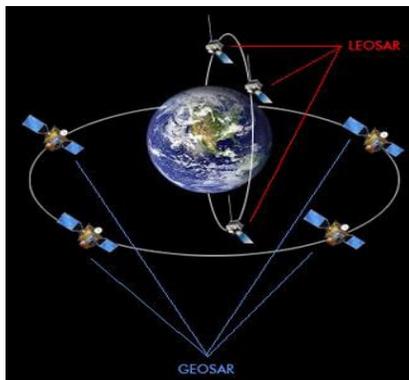


Figura 1. Constelación LEOSAR y GEOSAR

Si bien con el sistema GEOSAR se eliminaron algunas de las desventajas del sistema LEOSAR, también tenían su punto débil, ya que por su gran altura y posición fija con respecto a la Tierra no podían ubicar de forma independiente una radiobaliza a menos que tuviera un receptor de navegación (baliza integrada con sistema GNSS) para transmitir su posición. A pesar de estas debilidades, proporciona una visibilidad continua de una gran parte de la Tierra y, por lo tanto, mejora la constelación mundial COSPAS-SARSAT.

Durante el año 2000, la Comisión Europea, la Federación de Rusia y Estados Unidos hicieron arreglos con la organización COSPAS-SARSAT sobre la viabilidad de instalar nuevas cargas útiles de búsqueda y rescate en sus respectivos Sistemas Globales de Satélites de Navegación incorporando la capacidad de detectar frecuencias de 406 MHz para el uso del Sistema COSPAS-SARSAT, llamando a esta incorporación sistema MEOSAR. Para Estados Unidos, su sistema de satélite MEOSAR se nombra como SAR / GPS (DASS), en el europeo es el sistema de satélite SAR / Galileo, el sistema de satélite ruso se

llama SAR / GLONASS y el sistema de satélites chino se llama SAR/ BeiDou (Earth Observation Portal, 2015).

En 2011, el sistema satelital Galileo lanzó los satélites GSAT-101 y GSAT-102, siendo los primeros en incluir las cargas útiles SAR, después de pasar la fase inicial de pruebas, su uso fue aprobado por el consejo COSPAS-SARSAT.

Durante los años venideros se lanzaron otros satélites MEOSAR para realizar pruebas y ampliar el servicio Galileo, así también después de algunos años, la República Popular de China fue incluida en un “plan de implementación de búsqueda y salvamento” global de satélites por COSPAS-SARSAT (COSPAS-SARSAT, 2018).

El 13 de diciembre de 2016, la 57ª sesión del Consejo COSPAS-SARSAT decidió declarar la Capacidad Operacional Temprana (EOC) para la constelación de satélites MEOSAR (Cospas-Sarsat Council, 2016), la cual consiste en el uso operacional de los datos de alerta proporcionados por la combinación del segmento espacial MEOSAR en su configuración actual con las MMC y LUT’s en tierra.

Durante 2018, se realizaron muchos lanzamientos importantes para aumentar el impacto y desarrollar a partir de los satélites de la constelación SAR.

SEGMENTO ESPACIAL DEL COSPAS-SARSAT

En la actualidad, el segmento espacial cuenta con satélites LEOSAR, GEOSAR y MEOSAR operativos y disponibles para enviar alertas de radiobalizas de socorro al segmento terrestre COSPAS-SARSAT. Este está compuesto por cuatro (04) satélites en Órbita Terrestre Baja, nueve (09) satélites en Órbita Geoestacionaria y cuarentaicinco (45) satélites en Órbita Terrestre Media equipados con cargas útiles SAR para recibir y enviar mensajes de socorro emitidos por las radiobalizas SAR COSPAS-SARSAT. El servicio del sistema Cospas-Sarsat es gratuito para el usuario y totalmente financiado por los socios del programa.

Con constelación LEO / GEO y MEO; hoy es el sistema de rescate más importante a nivel mundial, habiendo sido utilizado desde 1982 hasta diciembre de 2018 por al menos 48,738 personas en 14,531 eventos, brindando asistencia en operaciones de rescate (Programme, Secretariat of the International Cospas-Sarsat, 2019).

La Figura 2 muestra cómo el rango de frecuencia entre 1544 MHz y 1545 MHz se divide en la señal de socorro de búsqueda y rescate LEO / GEO / MEO de los diferentes sistemas satelitales.

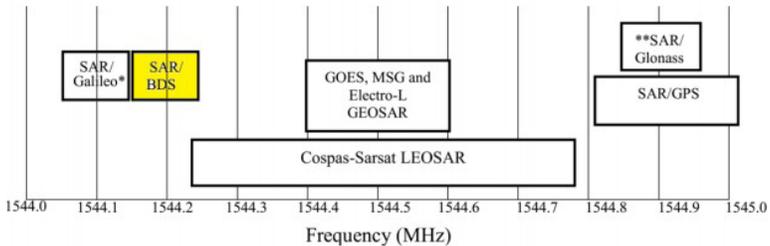


Figura 2. Frecuencia SAR 1544.0 Mhz a 1545.0 Mhz

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MEOSAR

Frente a las características y limitaciones que otorga LEOSAR y GEOSAR, las investigaciones identificaron y definieron beneficios de alerta SAR que pueden obtenerse de un sistema MEOSAR, tales como:

- Cobertura global casi instantánea con capacidad de ubicación independiente precisa,
- Enlaces de comunicación de radiobaliza robusta a satélite, altos niveles de redundancia y disponibilidad de satélite,
- Resistencia contra balizas a obstrucciones de satélites, y
- La posible provisión de servicios SAR adicionales (mejorados), como un enlace de retorno de tierra a la radiobaliza.

Después de ver estas ventajas, el Consejo COSPAS- SARSAT introdujo la capacidad MEOSAR en el sistema Cospas- Sarsat y fomentó la coordinación entre los proveedores del segmento espacial para la compatibilidad e interoperabilidad del sistema con los sistemas de satélite MEO (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Tradicionalmente, las misiones principales para las constelaciones en órbita media (MEO), generalmente se refieren a los

sistemas de navegación global que son de posicionamiento, cronometraje y navegación. Sin embargo, desde hace unos años, los satélites del sistema global de navegación por satélite (GNSS) incluyen también una misión secundaria con cargas útiles SAR, diseñadas dentro de las limitaciones impuestas por las cargas útiles principales de la misión. Algunas conexiones de satélite MEOSAR utilizan instrumentos repetidores de transpondedor para transmitir señales de baliza de 406 MHz a las estaciones terrestres MEOLUT, sin procesamiento a bordo, almacenamiento de datos o demodulación / remodulación. Las cargas útiles SAR / GPS, SAR / Galileo, SAR / BeiDou y SAR / GLONASS operan con enlaces descendentes dentro de la banda de 1544-1545 MHz. Las características técnicas estipuladas para cada sistema de satélite están contenidas en el documento del plan de implementación MEOSAR (MIP) (COSPAS-SARSAT, 2018). Los proveedores de satélites MEOSAR hacen que sus enlaces descendentes satelitales estén completamente disponibles internacionalmente para ser procesados por MEOLUT y operados por los participantes del segmento terrestre de MEOSAR.

El segmento espacial MEOSAR tiene la capacidad de proporcionar una cobertura global para la recolección de señales de balizas de socorro de 406 MHz. La transmisión de datos de socorro se realiza en tiempo real a cualquier estación terrestre ubicada dentro de la huella del satélite.

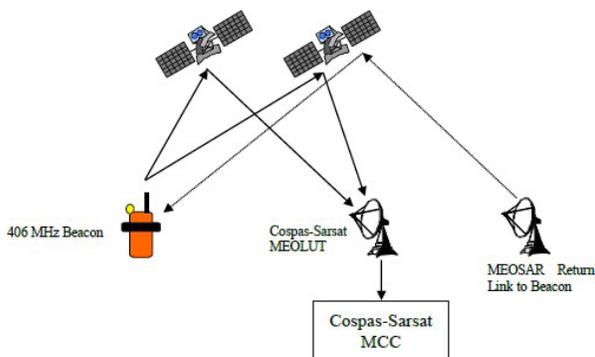


Figura 3. Operación del Sistema MEOSAR

Utilizando redes de instrumentos SAR en satélites y estaciones de procesamiento en tierra, el sistema MEOSAR recibirá, decodificará y localizará balizas de socorro de 406 MHz en todo el mundo. Las cuatro constelaciones MEOSAR serán completamente compatibles con las balizas de socorro COSPAS-SARSAT de 406 MHz según se definen en el documento C/S T.001 (especificación de balizas Cospas-Sarsat) y se muestran en la Figura 3.

Los satélites MEOSAR orbitan la Tierra a altitudes de unos 20.000 km recibiendo las señales transmitidas por las balizas de socorro COSPAS-SARSAT de 406 MHz. Los enlaces descendentes de satélite son procesados por estaciones receptoras terrestres, denominadas Terminales de Usuario Local del sistema MEO o MEOLUT, para proporcionar información de ubicación e identificación de radiobalizas. La información de alerta de socorro calculada por MEOLUT se envía a los Centros de Control de Misión (MCC) de COSPAS-SARSAT para su distribución a los servicios SAR (COSPAS-SARSAT, 2018).

Cada satélite MEOSAR proporciona visibilidad de una gran parte de la superficie de la Tierra. Además, es posible que las constelaciones GPS, BeiDou, Galileo y GLONASS puedan proporcionar individualmente una cobertura continua para las operaciones SAR de toda la Tierra debido a la gran cantidad de satélites en cada constelación y los planos orbitales. Esta oportunidad está sujeta a la disponibilidad de MEOLUT y la instalación de más cargas útiles SAR.

Con la carga útil SAR, cada una de las cuatro constelaciones MEOSAR podría recibir alertas de socorro casi de inmediato, aunque puede ser necesario un breve tiempo de procesamiento antes de que esté disponible una posible ubicación independiente de la baliza de socorro.

SEGMENTO TERRESTRE

Una estación receptora terrestre que es capaz de rastrear satélites en órbita terrestre media en el sistema COSPAS-SARSAT se denomina Terminal de Usuario Local en órbita terrestre media, también conocida como MEOLUT.

MEOLUT es capaz de recibir, transmitir alertas y datos de ubicación a su Centro de Control de Misión COSPAS-SARSAT (MCC

asociado para su posterior distribución a las autoridades SAR en las diferentes áreas de responsabilidad (Cospas-Sarsat Secretariat, 2019).

Bajo estos conceptos podemos decir que MEOLUT es una estación receptora terrestre del sistema COSPAS-SARSAT MEOSAR que detecta, caracteriza y ubica balizas de emergencia, y reenvía la información adecuada a un MCC.

En su 57ª sesión, el Consejo decidió asesorar a los diferentes países a través de sus operadores de segmento terrestre sobre la necesidad de prepararse para los cambios necesarios para la transición a la Capacidad Operacional Temprana (EOC) de MEOSAR; e implementar su MCC para que sea capaz de procesar LEOSAR, GEOSAR y MEOSAR fusionados que se llamarán LGM MCC (Cospas-Sarsat Council, 2016).

En el 2018, de un total de 42 MEOLUTs esperados, solo 12 se pusieron en servicio y 08 estaban en fase de prueba, pero no estaban disponibles para ser declaradas en servicio; se planificó la construcción de 21 estaciones en los años siguientes, y una de ellas fue bajo consideración (Cospas-Sarsat Secretariat, 2017).

Para la fecha en que se realizó esta investigación, el MEOLUT peruano, que se prevé instalar y poner en funcionamiento antes de finales del 2021; a la misma, se le asignó el nombre de MEOLUT Callao debido al área propuesta para su posible ubicación. El MEOLUT Callao es necesario para asegurar la disponibilidad de la cobertura adecuada proporcionada hacia el sistema MEOSAR. Gracias a la órbita en la que trabaja, se puede determinar que la cobertura que brinda el segmento espacial con un solo MEOLUT es mayor que la del actual LEOLUT y que depende del número mínimo de satélites necesarios para lograr la visibilidad simultánea de la radiobaliza y el MEOLUT para permitir la ubicación exacta de la precisión requerida (V. Studenov, 2017).

El MEOLUT recibirá y procesará las señales de baliza de socorro recibidas a través de enlaces descendentes en un rango de frecuencia entre 1544-1545 MHz de los satélites SAR / Beidou, SAR/ Galileo y SAR / GLONASS para obtener datos de radiobaliza. Estos datos de radiobaliza serán procesados por el MEOLUT para cumplir con todos los requisitos operacionales, funcionales, de procesamiento y desempeño contenidos en el documento de referencia “Especificación de desempeño C/S MEOLUT y directrices de diseño T.019” (Cospas-Sarsat Secretariat, 2019).

Un MEOLUT consta de al menos los siguientes componentes básicos y las interfaces adecuadas:

- Antenas y subsistemas de radiofrecuencia,
- Uno o más procesadores,
- Un subsistema de referencia de tiempo y frecuencia,
- Un subsistema de rastreo por satélite, y
- Una interfaz del Centro de control de la misión.

El MEOLUT se implementará para detectar la emisión de las señales de radiobaliza en cada canal de satélite y utilizar los resultados para localizar al personal tras la señal de radiobaliza. A diferencia del cálculo del efecto Doppler de LEOLUT, el MEOLUT calcula la frecuencia de llegada (FOA) y la hora de llegada (TOA) con al menos una ráfaga única, asumiendo la recepción de la señal de la playa por al menos tres antenas MEOLUT que siguen satélites distintos. El procesamiento MEOLUT puede proporcionar una ubicación de radiobaliza independiente bidimensional (2-D), utilizando una combinación de diferencia de tiempo de llegada (TDOA) y frecuencia Cálculos de diferencia de llegada (FDOA). Las ubicaciones tridimensionales (3-D) son posibles cuando la emisión de radiobaliza se transmite a un MEOLUT a través de más de tres satélites MEOSAR.

El MEOLUT también debe calcular una ubicación inequívoca para la radiobaliza si el mensaje se recibe de al menos tres satélites MEOSAR para una emisión determinada. El MEOLUT será capaz de mejorar la precisión de ubicación de la radiobaliza durante la primera emisión, combinando datos de emisiones posteriores a medida que se reciben.

Además, una condición sobre MEOLUT es que debe ser capaz de intercambiar datos con otros MEOLUT. Este requisito del intercambio de datos MEOLUT sirve para mejorar el rendimiento del sistema COSPAS-SARSAT y soportar la redundancia dentro del segmento terrestre (Cospas-Sarsat Secretariat, 2019).

La carga útil de SAR en los satélites MEOSAR recibe señales de enlace ascendente de 406 MHz de dispositivos como radiobalizas de socorro y radiobalizas de prueba. Estas señales de enlace ascendente, junto con las señales interferentes no deseadas, se traducen en frecuencia

y se retransmiten al suelo sobre una portadora de enlace descendente para que las reciba el MEOLUT.

El MEOLUT procesará los enlaces descendentes para caracterizar y localizar interferencias.

Los requisitos operativos, funcionales y de rendimiento para estos canales de procesamiento están destinados a garantizar que:

El MEOLUT está disponible y es capaz de recibir y procesar:

- Señales de radiobalizas de socorro de 406 MHz de primera generación (FGB) (Cospas-Sarsat Secretariat, 2019) y segunda generación (SGB) (Cospas-Sarsat Secretariat, 2019) que se reciben a través de enlaces descendentes de satélite MEOSAR; Están diseñados de acuerdo con los requisitos de interoperabilidad del segmento espacial acordados bajo los auspicios de COSPAS-SARSAT, incluidos los modos de ancho de banda normal (90 kHz) y estrecho (50 kHz), así como la posibilidad de operar con modo de ganancia fija o control de nivel automático.
- También debería ser capaz de intercambiar datos de procesamiento de balizas de socorro de otros MEOLUT, si se implementa el procesamiento de intercambio de datos MEOLUT.

El MEOLUT proporciona alertas confiables oportunas y datos de posición precisos:

- Después de procesar los datos, MEOLUT debería ser capaz de detectar mensajes de radiobaliza válidos e inválidos y procesarlos de acuerdo con esta especificación.
- Verificar siempre que sea posible que la identificación de la radiobaliza y la información de posición codificada sean válidas.
- Seleccionar correctamente los puntos de datos utilizados para calcular las ubicaciones de las radiobalizas.
- Proporcionar información de posición actualizada al MCC,
- Validación de ubicaciones de balizas calculadas; y mantener una referencia de tiempo precisa.

El segmento terrestre también considera al sector Usuario, el cual está constituido por tres tipos de radiobalizas que existen actualmente para la transmisión de señales de socorro:

- Las EPIRB, utilizadas por la comunidad marítima,
- ELT, utilizados por la comunidad aeronáutica y
- PLB, utilizados para uso personal, generalmente para aplicaciones terrestres, pero también pueden usarse en algunos casos para actividades marítimas y aeronáuticas

Hasta el 01 de enero del 2019, la población mundial estimada de radiobalizas de 406 MHz calculada utilizando el método de tasa de registro fue de aproximadamente 2'249,000 dispositivos (Programme, Secretariat of the International Cospas-Sarsat, 2019).

MEOLUT CALLAO

El Centro de Control de la Misión Peruana está ubicado en la ciudad de Lima, distrito de Callao en el lugar medio del área de responsabilidad SAR, y actualmente controla dos LUTs ubicados en las siguientes coordenadas (Figura 4):

- LEOLUT Callao latitud 12°01.84''S , longitud 077°07.79''W
- GEOLUT Callao latitud 12°01'85''S, longitud 077°07'80''W

LEOLUT Callao se encuentra, aproximadamente, en el centro del Perú, a unos 5 km al este del mar y 10 km de Lima, la capital de Perú, con una altitud de 0.03 km. El área de responsabilidad se llama Área SAR peruana, pero el rango LEOLUT peruano cubre las áreas de Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guayana Francesa, Guatemala, Guyana, Panamá, Paraguay, Surinam, Uruguay, Venezuela y partes de Argentina, Brasil y Chile, y se extiende 3,000 Nm hacia el Océano Pacífico hacia el oeste. Los PEMCC y LUTs operan las 24 horas del día durante todo el año. La Dirección General de Capitanías y Guardacostas de la Armada del Perú (DICAPI) es responsable de las operaciones, PEMCC, LUT peruanas y RCC peruanas (Cospas-Sarsat Secretariat, 2019).

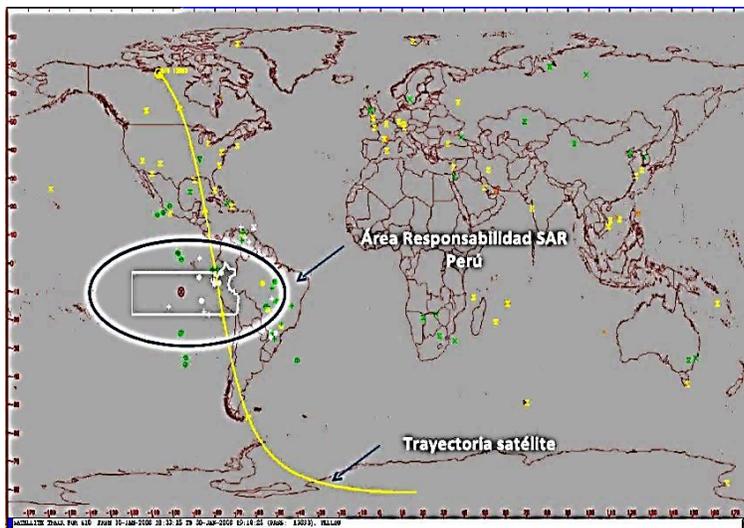


Figura 4. Área de Responsabilidad SAR en Perú

La ubicación propuesta por DICAPI para la implementación del MEOLUT peruano se encuentra en la misma área que LEOLUT con las coordenadas $12^{\circ}01'62''\text{S}$ $077^{\circ}07'62''\text{W}$ (Latitud 12.0307, Longitud 77.1298). Esta ubicación se utilizó para analizar los parámetros de los datos de enlace descendente de la frecuencia SAR. El área de cobertura de un MEOLUT autónomo deberá,

como mínimo, derivarse del seguimiento de paso de satélite MEOLUT ejecutado. Cada posible ubicación de baliza dentro de la zona de cobertura MEOLUT deberá cumplir las siguientes condiciones geométricas baliza-satélite-MEOLUT, con los siguientes supuestos (Cospas-Sarsat Secretariat, 2019):

- un MEOLUT mínimo al ángulo de elevación del satélite de más de 5 grados,
- ángulo de elevación de la baliza al satélite entre 5 y 60 grados (parte del diagrama de radiación de la antena que se especifica en el documento C/S T.001), a menos que la administración

nacional demuestre un rendimiento superior a 60 grados medido desde las balizas operacionales, un mínimo de tres satélites en visibilidad mutua baliza- MEOLUT

- (es decir, dentro de las condiciones de elevación anteriores).

MÉTODO

Para evaluar la factibilidad del MEOLUT peruano en función de su posible ubicación se realizó una simulación que incluyó su cobertura, visibilidad y disponibilidad de satélites de las constelaciones Galileo y Beidou ubicadas en la órbita MEO, que tienen instalada la carga útil SAR y que se encuentran actualmente operando.

El número disponible de satélites que se utilizaron para la simulación, fue de 19 satélites de Galileo y 06 satélites Beidou (U.S. Coast Guard Navigation Center, 2019).

Para la simulación se utilizó el programa Systems Tool Kit, conocido como STK, utilizando los parámetros orbitales de los 25 satélites anteriormente mencionados.

Posteriormente se realizó el cálculo de enlace, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Potencia transmitida (Pt),
- potencia recibida (Pr),
- ganancia de transmisión de la antena (Gt),
- ganancia recibida de la antena (Gr),
- temperatura de ruido de la estación terrena (Tes)
- distancia del camino (R).

Una señal que viaja desde el satélite a una estación terrestre pasará a través de la ionosfera, produciendo cierta atenuación en el enlace (Z. Jia, 2006). Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), existen varios efectos que la atmósfera introduce en el enlace por satélite. La UIT proporciona datos de propagación y métodos de predicción para el diseño de sistemas de telecomunicaciones tierra-espacio (ITU, 2013).

El cálculo de enlace para el MEOLUT Callao, se realizó utilizando la ubicación del sitio propuesto y calculando la pérdida de

propagación (espacio libre), la absorción atmosférica, la estimación de la pérdida por desvanecimiento de la ionósfera, el exceso de atenuación de la lluvia, el desajuste de polarización de la antenna, la pérdida de puntería de la antenna terminal y otras pérdidas localizadas en el suelo.

El procedimiento seguido para realizar el cálculo de enlace descendente se puede resumir de la siguiente manera:

- Cálculo de la EIRP .
- Cálculo de pérdidas en el espacio libre (L_s), se utilizó 30° como ángulo de elevación de la antenna (ϵ) para calcular la distancia entre la estación terrestre y el satélite, asumiendo que es el mínimo requerido para establecer el enlace efectivo entre el satélite y estación de tierra.
- Cálculo de pérdidas totales (L_{tot}).
- Cálculo de la atenuación por lluvia (A_r)
- Cálculo de la potencia recibida (P_r)
- Estimación de la temperatura de ruido del sistema (T_s).
- Cálculo de la densidad espectral portadora a ruido (C/N_0).

RESULTADOS

Cobertura MEOLUT callao

La cobertura de la constelación SAR con respecto al MEOLUT Callao se determinó para el mejor escenario, considerando la combinación de las constelaciones que tienen cargas útiles SAR.

Para el escenario propuesto se establecieron los parámetros en el STK durante el período de análisis durante una semana entre el 01 y el 07 de marzo de 2019, donde las constelaciones Galileo y BeiDou cuentan con 25 satélites operativos.

La Figura 5 muestra el informe generado por STK para el análisis de acceso proporcionando el número de pases durante el período de tiempo definido, así como el tiempo de acceso o la duración de cada satélite de interés.

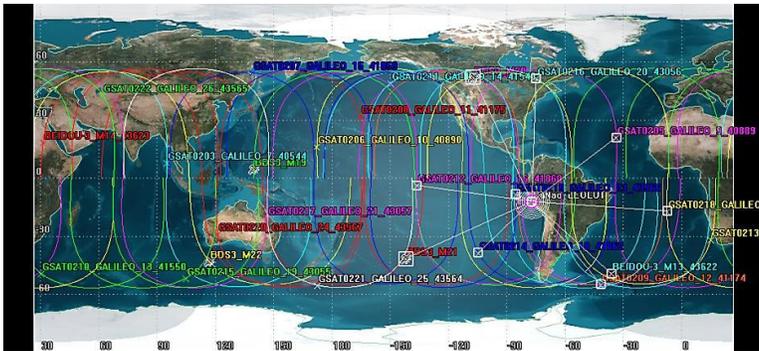


Figura 5. Cobertura MEOSAR para MEOLUT Callao

Tabla 1.
Resultado visibilidad MEOLUT

Resultados	BDS+Galileo
Satélites usados	25
Tiempo de Acceso	5'915,107.315
% de cobertura en el Callao	100
Mejor escenario	14
Peor escenario	6

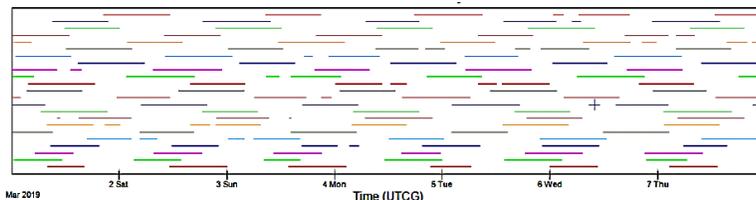
La Tabla 1 muestra el resultado de las simulaciones para la constelación MEOSAR muestra que cada satélite orbita sobre el MEOLUT Callao durante una suma total de 5915107.315 segundos, equivalente a 1643hrs,

Visibilidad respecto al MEOLUT Callao

La Figura 6 permite apreciar la sinergia de los veinticinco (25) diferentes satélites MEOSAR, de los cuales el MEOLUT Callao visualiza hasta (14) satélites MEOSAR al mismo tiempo, siendo este el mejor escenario. Mientras que la mínima cantidad de satélites que la estación terrena permite visualizar al mismo tiempo es de seis (6), siendo el peor escenario posible.

Figura 6

Periodos de visibilidad de la constelación MEOSAR, calculada para una semana en las coordenadas del MEOLUT Callao



Cálculo de Enlace

La Tabla 2 muestra los datos de salida después de calcular los parámetros del enlace descendente del MEOLUT Callao.

Tabla 2

Cálculo de enlace descendente

Cálculo de enlace descendente	MEOLUT Callao	Unidades
Cantidad de lluvia (Rr)	5	mm/hr
Latitud de la Estación terrena	-12.0307	deg
Altitud de la Estación terrena	0.001	km
Frecuencia de bajada	1544.21	Mhz
Satélite Tx EIRP	17.7	dBW
Angulo de elevación de la antena	30	deg
Rango	21525	km
Perdidas del camino de transmisión	-182.84	dB
Perdidas atmosféricas (AA)	-0.5	dB
Perdidas de desvanecimiento	-2.5	dB
Perdidas de polarización	-1	dB
Perdidas de poder compartidas	10	dB
Estación terrestre G/T	3.88	dB
Cálculo de enlace descendente C/No	58.94	dBHz

COMENTARIOS

Cobertura MEOLUT callao

De la Tabla 1 puede apreciarse que cada satélite de la constelación MEOSAR orbita sobre el MEOLUT Callao durante una suma total 1643hrs, asegurando una cobertura de 24 horas continuas sobre MEOLUT Callao.

Visibilidad respecto al MEOLUT Callao

La Figura 6 muestra que el MEOLUT Callao visualiza entre seis (6) y (14) satélites MEOSAR al mismo tiempo, siendo siempre un número mayor al requerido (3) y por lo tanto siendo todos casos favorables para su funcionamiento, aumentando la probabilidad de éxito en caso de respuesta en una situación de emergencia.

Para la cobertura de acceso se determinó que la latitud de ubicación $12^{\circ}01.62' S$ longitud $077^{\circ}07.62' W$ es adecuada para implementar el Callao de MEOLUT. Esta ubicación garantiza el 100% de acceso a la constelación de satélites MEOSAR, siendo el acceso un factor clave para la respuesta a las llamadas de emergencia.

La ubicación cumple con las condiciones óptimas de visibilidad para los tres escenarios para asegurar la cobertura satelital del LUT planificado en el área del Callao.

El aumento de la constelación de satélites MEOSAR durante los dos últimos años, así como los próximos lanzamientos estimados antes de finales de 2020, aumentan la fiabilidad del sistema.

Cálculo de Enlace

De la Tabla 2 puede observarse que el resultado para el balance descendente de MEOLUT peruano debe estar alrededor de 58.94 dBHz, superior al requerimiento de Cospas Sarsat (Cospas- Sarsat Secretariat, 2019) de mínimo 34.5 dBHz. Esto significa que la ubicación y la ganancia de antena seleccionada son adecuadas para Instalación MEOLUT Callao.

CONCLUSIONES

La ubicación planificada en latitud $12^{\circ} 01.62' S$ longitud $077^{\circ} 07.62' W$, es adecuada para implementar MEOLUT Callao y garantizar el 100% de acceso a la constelación de satélites MEOSAR. La ubicación cumple con la visibilidad requerida para asegurar la cobertura satelital del MEOLUT.

La simulación de la capacidad actual del segmento espacial MEOSAR proporciona una cobertura más confiable para la retransmisión de señales de emergencia a la estación MEOLUT Callao. La probabilidad de determinar una ubicación en situación de emergencia depende del número de cobertura continua visible, por lo que, para la constelación estudiada, en el peor de los escenarios, habría seis o más satélites visibles, garantizando el enlace y permitiendo una respuesta rápida para la emergencia que activó la radiobaliza.

Para MEOLUT Callao, el cálculo de enlace descendente arrojó una relación portadora / ruido de 58,94 dBHz, lo que significa que una ganancia de antena LUT de al menos 3,88 dB es adecuada para la instalación MEOLUT Callao.

Después de obtener la cobertura de los satélites MEOSAR, la potencia necesaria para el balance de enlace descendente, la adquisición de señales y el seguimiento de la ubicación de referencia para MEOLUT Callao, se puede concluir que la ubicación considerada para la implementación del MEOLUT Callao es adecuada y cuenta con altas probabilidades de éxito.

REFERENCIAS

- COSPAS-SARSAT. (Febrero de 2018). *Cospas-Sarsat 406 MHz MEOSAR Implementation Plan, CS-R012 C/S R.012 Issue 1 – Revision 13*. Obtenido de <https://cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-R012-FEB-2018.pdf>
- Cospas-Sarsat Council. (2016). Open Meeting of the Fifty-Seventh Session of the Cospas-Sarsat Council. (*CSC- 57/OPN/SR/5.3.13*). Paris, Francia.
- Cospas-Sarsat Secretariat. (Diciembre de 2017). *C/S Report on System Status and Operations No.34, C/S R.007*. Obtenido de <https://cospas-sarsat.int/en/documents-pro/system-documents>
- Cospas-Sarsat Secretariat. (Febrero de 2019). *COSPAS-SARSAT DATA DISTRIBUTION PLAN* . Obtenido de [file:///C:/Users/user/Desktop/GNSS%202017/II%20Semestre r/00%20Thesis%20Information/Doc%20CS/CS-A001-FEB-2019%20PEMCC.pdf](file:///C:/Users/user/Desktop/GNSS%202017/II%20Semestre%20r/00%20Thesis%20Information/Doc%20CS/CS-A001-FEB-2019%20PEMCC.pdf)
- Cospas-Sarsat Secretariat. (Febrero de 2019). *COSPAS-SARSAT MEOLUT PERFORMANCE SPECIFICATION AND DESIGN GUIDELINES T.019 - Issue 2 - Rev.3* .
- Cospas-Sarsat Secretariat. (Febrero de 2019). *SPECIFICATION FOR SECOND-GENERATION COSPAS-SARSAT 406-MHz DISTRESS BEACONS T.018*. Obtenido de <https://cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T018-FEB-2019.pdf>
- Cospas-Sarsat, P. I. (01 de 01 de 2014). *COSPAS-SARSAT.INT*. Recuperado el 01 de 11 de 2020, de COSPAS-SARSAT.INT: <https://cospas-sarsat.int/en/about-us/our-mission>
- Earth Observation Portal. (2015). *COSPAS-SARSAT (International Satellite System for Search and Rescue Services)*. Obtenido de <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cospas-sarsat>
- International Cospas-Sarsat Programme. (2014). *Transition to MEOSAR* . Recuperado el Marzo de 2019, de <http://www.cospas-sarsat.int/en/system-overview/transition-to-meosar>
- ITU. (2013). *Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems*.

- National Oceanic and Atmospheric Administration. (s.f.). *SARSAT Future Enhancements*. Obtenido de <https://www.sarsat.noaa.gov/future.html>
- Programme, Secretariat of the International Cospas-Sarsat. (01 de Diciembre de 2019). *System Data 2019*, 45. Obtenido de N°45: <https://cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/SD45-DEC19--EN--final-Corr.1.pdf>
- U.S. Coast Guard Navigation Center. (2019). *GPS CONSTELLATION STATUS*. Obtenido de <https://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>
- V. Studenoy, V. (2017). Status of the COSPAS–SARSAT Programme and Its Future Developments. *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems.*, 3(10.17238/issn2409-0239.2017.3.16.), 16-23.
- Z. Jia, Q. Z. (2006). *Atmospheric Attenuation Analysis in the FSO Link*. (IEEE, Ed.) Obtenido de 2006 International Conference on Communication Technology: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4146520&isnumber=4117911>