

Mayor monitorización de señales satelitales

Como infraestructura de navegación aérea, ENAIRE tiene una red de radioayudas y sistemas que prestan apoyo al guiado en ruta, área terminal, aproximación y aterrizaje a todo el tráfico que vuela por el espacio aéreo español. ENAIRE opera una red de 30 estaciones monitoras multicostelación y multifrecuencia en distintos aeropuertos españoles. ENAIRE dispone de un sistema de detección y localización de interferencias en el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas y está desplegando otros dos en los aeropuertos de Palma de Mallorca y Josep Tarradellas Barcelona-El Prat.

- Texto: Alejandro Muñiz Delgado, periodista de ENAIRE



Estación DYLEMA de ENAIRE.

ENAIRE es pionera en la implantación de sistemas de navegación por satélite, basada en su amplia experiencia en la provisión de servicios de navegación convencional. El gestor del espacio aéreo en España es el segundo proveedor de Europa, y el cuarto a nivel mundial, que ha puesto al servicio de compañías aéreas, pilotos y gestores aeroportuarios, la tecnología GBAS (Ground Based Augmentation System), que guía a las aeronaves con máxima precisión en la fase de aproximación final al aeropuerto.

ENAIRE cuenta con una completa red de monitorización de prestaciones e interferencias GNSS (del inglés Global Navigation Satellite System), en varios aeropuertos y otras ubicaciones, que da soporte a la implantación de la denominada Navegación Basada en Prestaciones (PBN, del inglés Performance Based Navigation).

Los sistemas de navegación por satélite, conocidos también como sistemas GNSS, son cada vez más utilizados en la navegación aérea,

siendo el sensor principal sobre el que se sustenta el concepto PBN o Navegación Basada en Prestaciones. Por este motivo, ENAIRE hace un gran esfuerzo en supervisar dichas señales de modo que cualquier desviación, frente a su comportamiento habitual, sea identificada lo antes posible para minimizar su impacto en los vuelos.

Los sistemas GNSS proporcionan información precisa sobre el posicionamiento de las aeronaves en su área de servicio. Se consideran sistemas GNSS tanto los sistemas globales de posicionamiento (GPS, Galileo, GLONASS) como los sistemas de aumentación de señal (ABAS, SBAS y GBAS). Los sistemas de posicionamiento proporcionan las señales radioeléctricas necesarias para identificar unívocamente el tiempo, posición (latitud, longitud, altitud) y velocidad de un receptor.

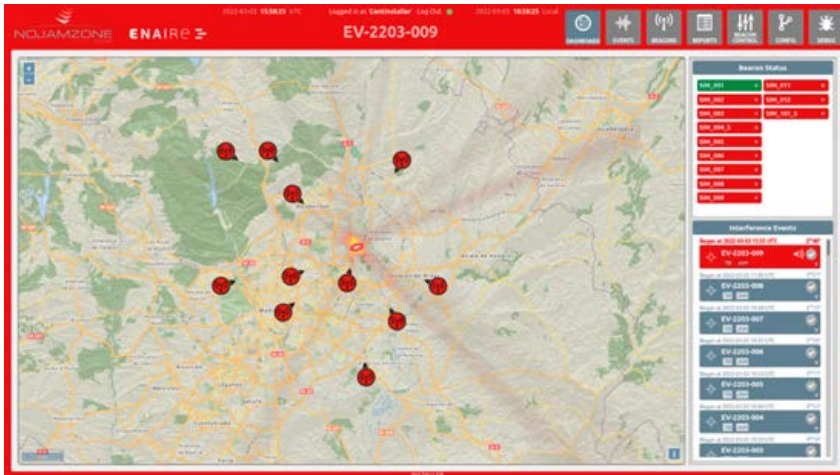
Actualmente en España está autorizado el uso en aviación civil de las señales de una constelación global (GPS) y de los tres tipos de aumentación (ABAS, SBAS a través del sistema europeo EGNOS y un sistema operacional GBAS operado

por ENAIRE en el Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol).

ENAIRE monitoriza las señales GNSS de acuerdo a las recomendaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y los requerimientos de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) y la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), en el marco del grupo de trabajo para la implantación de procedimientos PBN en España. En particular, se realizan una serie de actividades dirigidas a monitorizar, analizar y reportar, a las autoridades responsables, anomalías en las señales GNSS (GPS/RAIM, GBAS y EGNOS) utilizadas en el espacio aéreo español.

ENAIRE también trabaja en proyectos de I+D+i y de estandarización para allanar el camino a los sistemas que se usarán en el futuro: como la inclusión de la constelación europea Galileo o el uso de receptores multifrecuencia (L1/E1 y L5/E5) / multicostelación (GPS y Galileo).

A nivel europeo, también se están impulsando las tareas de monitorización GNSS mediante diversas iniciativas, como la creación de un



Interfaz gráfica del sistema DYLEMA (estaciones simuladas).

ENAIRE protege el tráfico aéreo de posibles interferencias en las señales que permiten su gestión con seguridad.

concepto de operaciones (European GNSS Monitoring Concept of Operations) por parte de la Agencia Europea del Espacio (EUSPA) para compartir dicha información con los diferentes actores involucrados en aviación.

ENAIRE dispone de dos sistemas de monitorización de prestaciones y detección de interferencias. Uno de área amplia denominado RECNET, que cubre los aeropuertos de toda España con maniobras implantadas basadas en GNSS, permitiendo la monitorización de prestaciones y la detección de interferencias, y otro, llamado DYLEMA, específico para determinados aeropuertos críticos por su volumen de tráfico, que permite la detección y localización de interferencias que pueden afectar a las señales GNSS. A continuación,

se describen ambos sistemas con más detalle.

DYLEMA

DYLEMA (acrónimo de Detección Y Localización de interferencias GNSS En TMA's) es la solución desarrollada por ENAIRE para la detección y localización en tiempo real de fuentes de RFI (interferencias de radiofrecuencia) de las señales GNSS (fundamentalmente GPS y Galileo) en las bandas de frecuencia L1/E1 y L5/E5 que pueden afectar a la navegación aérea en las cercanías de los principales aeropuertos del país. Ya está en funcionamiento en Adolfo Suárez Madrid-Barajas y en desarrollo en Palma de Mallorca y Josep Tarradellas Barcelona-El Prat.

El sistema es capaz de analizar en tiempo real la señal interferen-



Antena GNSS de estación RECNET de ENAIRE.

te y alertar, en caso de detección temprana, de una señal de *jamming* (interferencia sin suplantación de las señales GNSS) o de *spoofing* (interferencia con suplantación de las señales GNSS) y de esta manera advertir a los usuarios del espacio aéreo, así como a las instalaciones de tierra que sean vulnerables a este tipo de circunstancias.

La gestión del tráfico aéreo depende cada vez más de la tecnología GNSS. Por lo tanto, el *jamming* y el *spoofing* GNSS pueden causar importantes trastornos y representar una amenaza para la seguridad pública y la aviación. Afortunadamente, la comprobación técnica del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencia empleadas por los sistemas GNSS permite detectar y localizar las fuentes intencionadas (*jammers* y *spoofers*),



Antenas GNSS de estación RECNET de ENAIRE.

así como las fuentes no intencionadas (por ejemplo una estación base de telefonía móvil averiada) para tratar de paliar este tipo de situaciones.

Este proyecto nació a raíz de un evento de interferencias ocurrido en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, en febrero de 2016. Aunque este suceso no tuvo impacto en la seguridad, se redujo la capacidad del aeropuerto durante 5 días. Tras las investigaciones llevadas a cabo por ENAIRE y la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales, se localizó y desconectó un inhibidor GNSS (*jammer*) de alta potencia a unos 10 kilómetros del aeropuerto. Tras este hecho, se decidió desarrollar un nuevo sistema para monitorizar y localizar en tiempo real las fuentes interferentes GNSS en el Área

Terminal de Maniobras de Madrid, de modo que se pudieran detectar y mitigar en el menor tiempo posible en esta zona de llegadas y salidas de aeronaves que supone una fase crítica a proteger.

Tras una intensa ejecución del proyecto de 2017 a 2020, el sistema DYLEMA-Madrid ya está instalado y plenamente operativo en las inmediaciones del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas. Cuenta con diferentes estaciones encargadas de detectar y localizar interferencias en las bandas de frecuencia L1/E1 y L5/E5 de GPS/Galileo, para potencias de interferencia recibidas por encima de los niveles permitidos que se definen en el Anexo 10 de las Normas y Métodos Recomendados de la OACI.

Es capaz de detectar y localizar fuentes de interferencia estáticas

o dinámicas con un error de 1 kilómetro (68%). Además, el sistema se opera en tiempo real durante las 24 horas del día, 7 días a la semana, por personal capacitado del Centro de Operaciones GNSS H24 de Torrejón de Ardoz, en Madrid, desde el que se evalúan y notifican los eventos interferentes detectados, así como el estado operativo del sistema que componen las estaciones de monitorización y el servidor central de procesamiento.

Para localizar las fuentes de interferencia, el sistema utiliza la técnica de radiogoniometría o AOA (del inglés Angle of Arrival). La técnica concreta de AOA utilizada se basa en la medición de la diferencia de fase de llegada (interferometría) entre dos o más antenas de un conjunto que reciben la señal de radiofrecuencia dentro de cada



Ubicación de estaciones RECNET.

estación instalada. De esta forma, se obtiene la dirección de entrada de la interferencia con respecto a la estación de control. La localización de la fuente interferente viene dada por la técnica de triangulación, cuando dos o más estaciones indican la dirección, ya que la fuente se encuentra en la intersección de los rumbos o direcciones.

La arquitectura del sistema instalado en Madrid consta de 10 estaciones monitoras, una red de comunicación IP y un Centro de Operaciones 24/7. Además, cuenta con una interfaz de usuario que integra un mapa interactivo en el que se muestra el estado y la ubicación de las estaciones monitoras. En caso de detección de una interferencia, se muestra en el mapa el AOA de cada estación en la que se detecta la interferencia y, si se dispone de triangulación, se muestra su geolocalización estimada. Para complementar la interfaz gráfica de usua-

rio, se activa automáticamente una alarma sonora en caso de detección de interferencias y de anomalías del sistema, incluidos los fallos de las estaciones individuales.

Desde el inicio de las operaciones del sistema se han detectado los siguientes eventos de interferencia en la banda GPS L1:

- Más de 300 eventos con una duración inferior a 2 minutos.
- Más de 40 eventos con una duración de 2 a 20 minutos.
- 3 eventos con una duración de más de 20 minutos.

De estos últimos tres eventos, el sistema permitió detectar y localizar un vehículo que emitía, de manera no intencionada, una interferencia en el entorno de Paracuellos del Jarama. La interferencia se originaba en un dispositivo averiado, el cual fue desconectado por la empresa propietaria del vehículo.

Por último, hay que destacar que actualmente, fruto de una iniciativa

de innovación interna premiada por ENAIRE en diciembre de 2021, se está desarrollando un prototipo de sistema de detección y localización de interferencias basado en dron, el cual permitirá localizar con mayor rapidez y precisión interferencias que no hayan podido ser detectadas o geolocalizadas con la suficiente exactitud mediante los sistemas DYLEMA establecidos en tierra.

RECNET

Previo a la publicación de nuevas maniobras basadas en GNSS, se realizan campañas de validación en tierra y en vuelo para comprobar las prestaciones de los sensores GNSS, en aquellos procedimientos de vuelo instrumental en los que se especifique que GNSS será utilizado como medio de navegación.

Con las actividades previas al vuelo de validación de la maniobra, se hace una evaluación inicial de

las prestaciones GNSS. De esta manera, se analiza el estado de las señales, comprobando que éstas son estables y que su tendencia puede garantizar su uso en la realización de las maniobras. Asimismo, se evalúa la posible presencia de interferencias GNSS en el entorno donde se pretenden implantar los procedimientos basados en GNSS.

Una vez que se han realizado los vuelos de validación de las maniobras PBN, es necesario realizar un análisis, no solo de las prestaciones GNSS y del entorno interferente durante la maniobra, sino de los errores que el sistema de navegación introduce en la solución en comparación con la trayectoria definida.

Puesto que los datos se obtienen de los receptores embarcados en la aeronave, al realizar el análisis no solo se observarán los errores del sistema de navegación, sino también los errores debidos a la propia ejecución del vuelo.

Finalmente, se realiza una monitorización continua en tierra,

menos exhaustiva que la inicial, de las señales GNSS de modo que se verifique que las condiciones evaluadas cuando se publicó una maniobra se mantienen estables a lo largo del tiempo. Para ello, se instala una estación monitora en los aeropuertos que cuenta con procedimientos PBN basados en GNSS. Estas estaciones conforman la red de monitorización de ENAIRE denominada RECNET.

La red RECNET se va desplegando en coordinación con los planes de implementación de navegación PBN y cuenta en la actualidad con 30 estaciones monitoras distribuidas por toda España.

Estas estaciones de monitorización llevan integrado un receptor GNSS multifrecuencia y multiconstelación. Las estaciones captan los datos crudos (observables GPS/Galileo, efemérides, almanaques, mensajes EGNOS) y los transfieren al servidor central.

El servidor central, ubicado en el Centro de Control de ENAIRE en Madrid, se encarga de la recolección de datos, ejecuta su

procesado y publica en una aplicación web tanto los resultados de prestaciones GNSS/EGNOS como las potenciales interferencias detectadas.

Las estaciones permiten la monitorización de las señales de los sistemas GPS y EGNOS, así como la detección de interferencias en la banda L1, comparando el nivel de potencia a la entrada de la antena GNSS con los umbrales definidos en el Anexo 10 de la OACI.

De esta forma, posteriormente se hacen cálculos estadísticos procesando los datos recibidos y evaluando la disponibilidad, continuidad, exactitud e integridad de los distintos servicios usados en aviación, y que contribuyen a garantizar la seguridad a los usuarios de dichos servicios.

Con este equipamiento, infraestructuras y un equipo humano de máxima capacitación, ENAIRE ofrece la seguridad que requiere la gestión del tráfico aéreo, ya sea navegación convencional o basada en servicios satelitales con tecnología de precisión. ■