

Propuesta de un Sistema GBAS en el Aeropuerto Internacional Frank País de Holguín

Proposal for a GBAS system at the Frank País International Airport in Holguín

Ing. Félix García Borges^{1*}, Dr. C José Armando Rodríguez Rojas², Ing. Liban Tellez^N

Recibido: 11/2021 | Aceptado: 01/2022

Palabras Claves

Sistema Gbas
Satélite
GNSS
Aumentación

Resumen

Se propone la implementación de un Sistema de Aumentación Satelital Basado en Tierra de altas prestaciones y precisión que permita garantizar eficientemente la seguridad de la navegación aérea en la región del Aeropuerto Internacional Frank País de Holguín. Se tuvo en cuenta la necesidad de realizar operaciones áreas eficientes, seguras y por el incremento del flujo del tráfico aéreo. Para llegar al resultado propuesto se utilizaron diferentes métodos científicos, que permitieron realizar diversos cálculos para cumplir con los requisitos exigidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), modelar y finalmente evaluar el sistema con diferentes software. Los resultados que se muestran evidencian que se puede implementar el sistema.

Keywords

Gbas system
Satellite
GNSS
Augmentation

Abstract

It is proposed taking into account the need to carry out efficient and safe area operations and the increase in the flow of air traffic, the implementation of a Ground-Based Satellite Augmentation System of high performance and precision that allows to efficiently guarantee the safety of air navigation in the region of the Frank País International Airport of Holguín. To arrive at the proposed result, different scientific methods were used, which allowed various calculations to meet with the requirements demanded by the International Civil Aviation Organization (ICAO), modeling and finally evaluating the system with different software. The results shown show that the system can be implemented.

Introducción

Con el aumento del tráfico aéreo mundial, los sistemas de ayuda a la navegación convencional, no han sido

capaces de garantizar la flexibilidad necesaria del espacio aéreo para asumir este crecimiento. Se reconoce que, estos sistemas no proporcionan la integridad suficiente

1* Centro Control Tráfico Aéreo, CCTA. felixemilio9312@gmail.com

2 Empresa Cubana de Navegación Aérea. jose.rodriguez@aeronav.avianet.cu

N Centro Control Tráfico Aéreo, CCTA. liban.tellez@aeronav.avianet.cu

ciente para garantizar un monitoreo constante en todas las fases que comprende un vuelo. Es por ello que, se ha demandado la implementación de herramientas satelitales, con las cuales se ha ido solucionando la situación descrita. Debido a los estrictos requisitos de seguridad que se imponen a los equipos de navegación aeronáutica, los sistemas GNSS -Sistema global de navegación por satélite- por sí mismos no son capaces de cumplir los requisitos de exactitud, continuidad, disponibilidad e integridad. Por este motivo, durante los últimos años se han desarrollado nuevos sistemas de aumentación de señales GNSS para poder aplicar la navegación por satélite en el tráfico aéreo.

Se denominan sistemas de aumentación satelital porque están compuestos por un conjunto de antenas receptoras las cuales van a detectar la señal proveniente de las constelaciones satelitales como es el caso del Sistema de Posicionamiento Global —GPS, *Global Position System*—, luego van a procesar la señal en una estación central para posteriormente transmitirla a la aeronave. Estos sistemas de posicionamiento por satélite se han ido desarrollando a lo largo de los años y todos se engloban dentro de la categoría de los Sistemas Global de Navegación por Satélite.

El estudio que se realiza está orientado a la implementación de un Sistema de Aumentación Basado en Tierra —GBAS, *Ground Based Augmentation System*— el cual es capaz de emplear la señal emitida por los sistemas GNSS, para proporcionar el guiado a la aeronave tanto vertical como horizontal durante el procedimiento de aproximación a la pista. El Sistema de Aumentación Satelital Basado en Tierra (Figura 1) es uno de los tres tipos de aumentación de las señales de constelaciones globales de satélites (GNSS) reconocidos por la OACI, actualmente GBAS brinda aumentación a las constelaciones principales, y permite aproximación de la precisión hasta Categoría III (CAT III). Está certificado para aproximaciones de precisión CAT I, sin embargo, puede proporcionar un rendimiento para cumplir con los requisitos de CAT II/ III, pero estas últimas, aún no han sido incluidas en el Anexo 10 vol. I de la OACI.

El sistema GBAS utiliza el concepto de correcciones diferenciales, conociendo la posición exacta de la estación terrestre, es posible obtener el error de posicionamiento de la señal emitida por los satélites mediante la comparación entre la posición de la estación y la posición estimada mediante la señal GNSS. De esta

manera es posible aumentar la señal satelital para efectuar aproximaciones de precisión.

Materiales y métodos

GBAS lo componen varios subsistemas. El GBAS está compuesto por tres subsistemas fundamentales:

Subsistema Satelital: Compuesto por las constelaciones de satélites GNSS.

Subsistema Aeronave: Compuesto por las antenas receptoras que reciben las señales del satélite y las señales del segmento terrestre.

Subsistema Terrestre: Compuesto por las estaciones de control y antenas receptoras de la señal GNSS, estación de procesamiento y antena VDB.

Subsistema satelital

El subsistema satelital lo forman las distintas constelaciones satelitales las cuales se encargan de generar y emitir el mensaje de navegación GNSS y transmitir las señales que son recibidas por estaciones terrestres a través de un conjunto de antenas receptoras.

Subsistema terrestre

El subsistema terrestre incluye varios receptores de referencia, un sistema de procesamiento central (Shelter) y una estación de transmisión de datos diferenciales. Los receptores de referencia —RRA, *Reference Receiver Antenna*— reciben las señales del satélite en tiempo real y envían los datos de observación del satélite y los parámetros de efemérides al sistema de procesamiento central. El sistema de procesamiento central, calcula las correcciones de pseudodistancia y fase de portadora y mientras tanto, monitorea la integridad del GBAS. Finalmente, los parámetros de integridad y las correcciones de pseudodistancia se transmiten a los usuarios de a bordo en el espacio aéreo a través de la estación de transmisión de datos diferenciales.

Subsistema en la aeronave

El subsistema en la aeronave lo componen diversas antenas receptoras de la señal GNSS, una antena receptora con el objetivo de recibir la información proveniente del subsistema terrestre y un receptor multi-modo —MMR, *Multi-Mode Receiver*— con el objetivo de receptionar y procesar la señal que permite

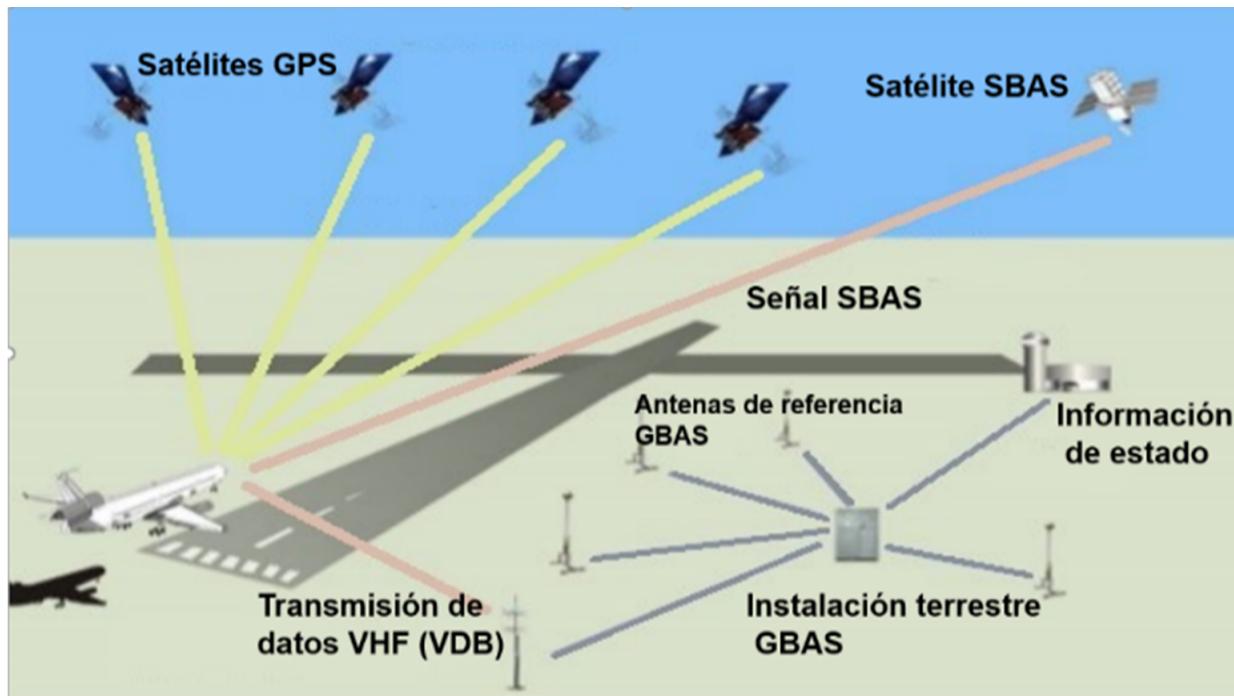


Figura 1. Sistema GBAS

implementar los diferentes tipos de aproximaciones de precisión que puedan coexistir en el momento concreto, para aproximaciones de precisión.

Cobertura de la señal GBAS

La cobertura del GBAS (Figura 2) en apoyo de cada una de las aproximaciones de precisión de Categoría I o aproximaciones con guía vertical será como sigue, excepto cuando lo dicten de otro modo las características topográficas y lo permitan los requisitos operacionales (OACI, 2008):

Lateralmente, empezando a 140 m (450 ft) a cada lado del punto del umbral de aterrizaje/punto de umbral ficticio (LTP/FTP) y prolongando a $\pm 35^\circ$ a ambos lados de la trayectoria de aproximación final hasta 28 km (15 NM) y $\pm 10^\circ$ a ambos lados de la trayectoria de aproximación final hasta 37 km (20 NM).

Verticalmente, dentro de la región lateral, hasta el mayor de los siguientes valores 7° o 1,75 por el ángulo de trayectoria de planeo promulgado (GPA) por encima de la horizontal con origen en el punto de interceptación de la trayectoria de planeo (GPIP) y 0,45 GPA por encima de la horizontal o a un ángulo inferior, descendiendo hasta 0,30 GPA, de ser necesario, para salvaguardar el procedimiento promulgado de interceptación de trayectoria de planeo. Esta cobertura

se aplica entre 30 m (100 ft) y 3 000 m (10 000 ft) de altura.

El GBAS se comunica con los sistemas de a bordo de la aeronave mediante un enlace de datos digital emitidos en la banda de frecuencia VHF, la cual se extiende desde 108.025 MHz hasta 117.975 MHz, teniendo en cuenta las frecuencias con que operan el VOR y el ILS instalados en el aeropuerto internacional Frank País de Holguín son 116.8 MHz y 111.3 MHz respectivamente, se puede utilizar una frecuencia para la antena VDB de 114.5 MHz, cumpliendo así los requerimientos de asignación de frecuencia asociados con el VOR e ILS. Para el cálculo de la pérdida por espacio libre y la PIRE —Potencia Isótropa Radiada Equivalente— nos apoyaremos en las recomendaciones de la UIT-R (P.525-4) y UIT-R (M.1841) respectivamente (UIT-R, 2013), (Rábanos, J. M., 2019).

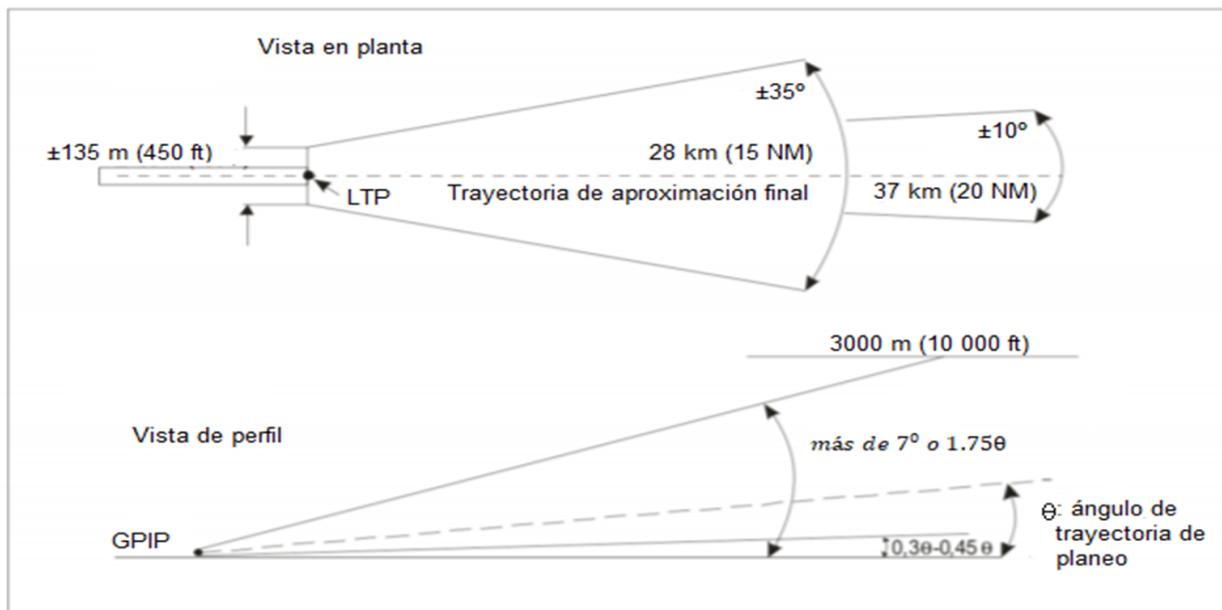
$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d(m)}{\lambda} \right) \quad (1)$$

Donde:

L_{bf} : pérdidas básicas de transmisión en el espacio libre (dB)

d: distancia

λ : longitud de onda



GPIP - punto de intersección de la trayectoria de planeo
LTP - punto del umbral de aterrizaje

Figura 2. Cobertura del sistema GBAS

$$E = 76,9 + PIRE - 20 \log d + H + V \quad (2)$$

Donde:

E: intensidad de campo de la señal de radiodifusión (dB (μ V/m))
d: distancia (km)

H: corrección del diagrama de radiación horizontal (dB)

V: corrección del diagrama de radiación vertical (dB)

Para evaluar el balance energético se parte de la ecuación fundamental (ecuación de balance energético) y se tomará en cuenta la Tabla 1 extraída del Anexo 10 Vol.1 Radioayudas para la navegación donde se refleja el balance nominal de enlace VDB (Reinoso Díaz, A., 2019):

$$P_{dr} (\text{dBm}) = P_{et} - L_{tt} + G_t - L_b + G_r - L_{tr}$$

Donde:

P_{et} : Es la potencia entregada por el amplificador del transmisor a los circuitos de acoplamiento a la antena, se denomina como potencia de transmisión (dBm).

L_{tt} y L_{tr} : Son las pérdidas en los circuitos de acoplamiento a la antena del transmisor y el receptor respectivamente, también conocidas como pérdidas en terminales (dB).

L_b : Es la pérdida básica de propagación (dB).

G_r y G_t : Ganancias de las antenas de transmisión y de recepción respectivamente con radiación isotrópica (dB).

Elementos de enlace VDB	Balance de enlace del componente vertical en el borde de la cobertura	Balance de enlace del componente vertical en el borde de la cobertura
Sensibilidad requerida del receptor (dBm)	-87	-87
Pérdida Máxima de implementación de aeronave (dB)	11	15
Nivel de potencia después de la antena de aeronave	-76	-72
Margen operativo (dB)	32	3
Margen de desvanecimiento	10	10
Pérdida por trayecto libre en el espacio (dB) a 43 Km	106	103

Tabla 1. Balance nominal

En este caso se asume un enlace de tierra a un avión con visibilidad directa a 3000 m de altura. En condiciones normales de propagación con despojamiento adecuado, las pérdidas básicas de propagación son la de espacio libre, no obstante, existen atenuaciones adicionales que se presentan en condiciones adversas provocando desvanecimientos. Las lluvias provocan absorción y dispersión en la propagación de la onda de radio a frecuencias superiores a 10GHz. En el análisis de las pérdidas por difracción es necesario conocer qué por ciento de la zona de Fresnel se mantiene liberada; esto permite aplicar un grupo de criterios para conocer si existen condiciones de despojamiento, es decir, la liberación total o parcial del radio en la primera zona de Fresnel en un perfil radioelectrónico mediante la elección adecuada de las alturas de las antenas.

Se asume que el fenómeno de difracción es despreciable y no existe obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel, por tanto, solo se considera la pérdida de espacio libre y por desvanecimiento. La antena VDB tendrá una potencia de salida de modo que, para una cobertura lateral de 23 millas, vertical de 10000 pies y señal de radiodifusión con polarización horizontal se mantengan los valores obtenidos anteriormente. Para esto mediante la ecuación 3 y con el apoyo en los datos proporcionados en la Tabla 1 se comprobará que la potencia recibida a la entrada del amplificador de radiofrecuencia del receptor en la aeronave es igual a su sensibilidad.

Como método experimental también se usaron software de simulación tales como Astool y Radio Mobile. Ambos se utilizan para simular radioenlaces, presentar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, además de que permiten el cálculo de cobertura y precisión de cualquier sistema de vigilancia y navegación. Ambos son herramientas gratuitas, útiles y precisas.

Resultados y discusión

Desarrollando las ecuaciones anteriores se puede obtener que el valor de las pérdidas por espacio libre es de 106 dB. Para el cálculo de la PIRE, los valores pertinentes de las correcciones de los diagramas de radiación horizontal y vertical se suman aritméticamente, respetando una corrección combinada máxima de -20 dB, o el máximo de la corrección vertical, cualquiera que sea mayor. Para ángulos de elevación por encima

de 45°, no se aplican correcciones del diagrama de radiación horizontal. Posteriormente se procede a la sustitución y cálculo donde se obtiene un valor de 22,16 dBw de potencia isótropa radiada equivalente. Por tanto, la potencia máxima de transmisión a una distancia de 42 km que es la establecida por la OACI para la prestación de servicios de aproximación es de 22,16 dBw. Para evaluar el balance energético se parte de la ecuación fundamental ecuación de balance energético (Ecuación 3) y apoyándose en los datos proporcionados en la tabla 1 se realizarán los cálculos pertinentes.

$$P_{dr} = -87 \text{ dBm} = \text{sensibilidad}$$

$$\ddot{E}(\text{dB}\mu) = 46.6 \text{ dB}\mu$$

$$Lb = 116 \text{ dB}$$

Sustituyendo los valores obtenidos de la tabla 1 se obtiene que:

$$-87 \text{ dBm} = P_{et} - 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB}i - 116 \text{ dB} + 0 \text{ dB}i - 15 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

$$P_{et}(\text{dB}) = 47 \text{ dBm} = 50 \text{ W}$$

Con estos 50 watts se tiene que la potencia recibida a la entrada del amplificador de radiofrecuencia del receptor en la aeronave es igual a su sensibilidad, o sea de -87dBm según lo recomendado en tabla de OACI para el balance nominal. Se puede concluir que siempre y cuando se mantengan los valores de potencias, ganancias y pérdidas especificadas anteriormente, el valor de potencia recibida se mantendrá dentro de los valores de sensibilidad requerida para los receptores a bordo.

Compatibilidad por intermodulación

A partir de la utilización del software SENNHEISER y con la configuración escogida se demuestra en la figura 3 que es posible la compatibilidad por intermodulación a la entrada del receptor de las señales del GBAS, ILS y VOR teniendo en cuenta las respectivas frecuencias de cada sistema.

Para el diseño del sistema se tiene que tomará en cuenta una separación de 100 a 200 m (se sugieren 155 mts) de radio entre cada receptor o antenas de referencia del GNSS, con una pendiente de 3°. La antena VDB se debe encontrar a no más de 200 m de cualquier otro sistema. La distancia máxima de separación entre la unidad de procesamiento y la antena VDB es de 200 m. Todo el receptor de las señales GNSS se deben encontrar a una distancia máxima de 1300 mts. Todas estas

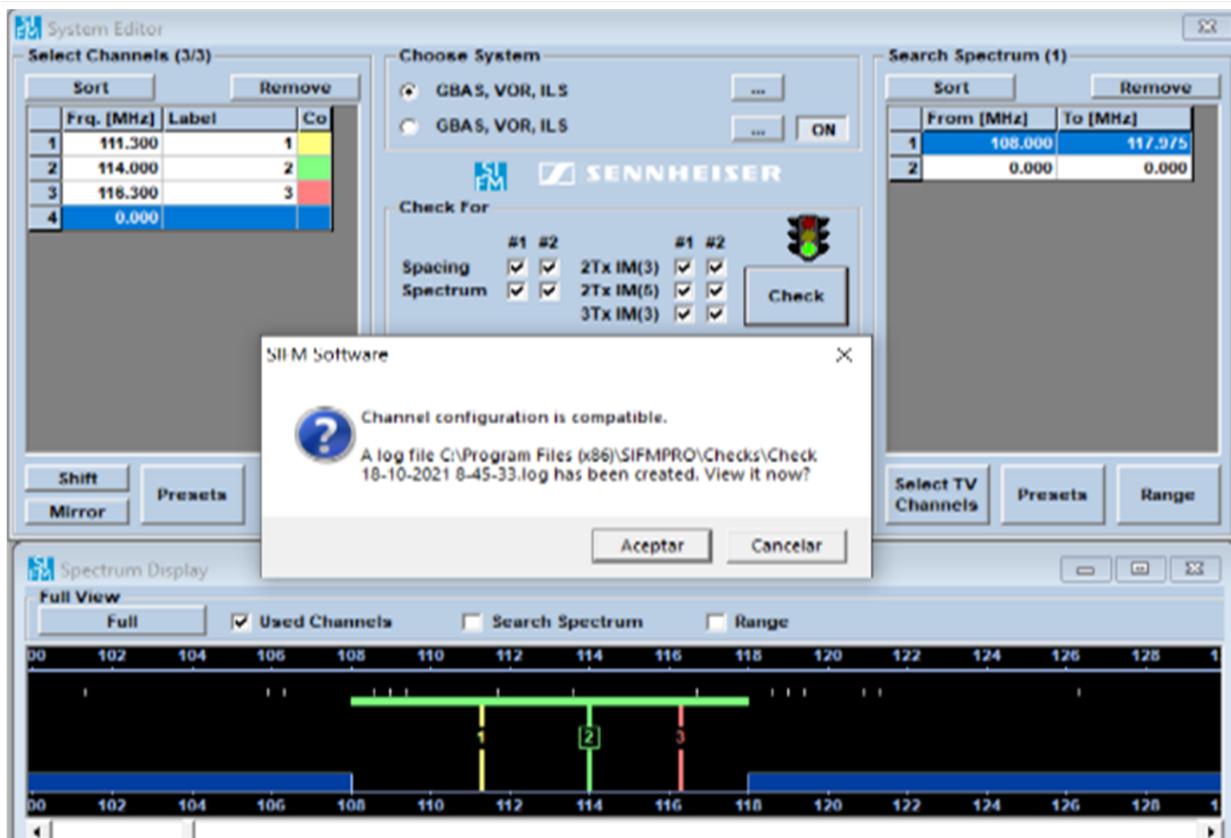


Figura 3. Simulación de intermodulación

consideraciones se implementan para garantizar que no se afectaran las prestaciones del sistema. Al igual se tomó en cuenta la situación geográfica del aeropuerto.

Dispositivo	Latitud	Longitud
RRA 1	20°47'05.01"N	76°19'18.29"W
RRA 2	20°47'08.45"N	76°19'21.87"W
RRA 3	20°47'05.1"N	76°19'25.67"W
RRA 4	20°47'01.59"N	76°19'22.08"W
Transmisor VDB	20°47'12.07"N	76°19'17.73"W
Shelter	20°47'13.22"N	76°19'18.13"W
Localizador ILS	20°47'.53,21"N	76°18'.02,96"W

Tabla 2. Coordenadas de la ubicación de los elementos

Para la ubicación de los componentes del sistema GBAS se utilizó el Software Google Earth, el cual nos brinda información detallada del aeropuerto de Holguín (Figura 4). Esto permite ubicar geográficamente los diferentes sistemas de navegación que se encuentran ac-

tualmente en uso y además nos permite ubicar nuestra futura propuesta del sistema GBAS.

La simulación se realizó utilizando el software RadioMobile, y se tomaron en cuenta las señales del ILS que es el actual sistema de aterrizajes en Holguín (Figura 3). Las señales del GBAS que se pretende implementar, tendrá en cuenta las siguientes características.

Se van a considerar alturas de 3000 m en ambos casos.



Figura 4. Ubicación de los elementos del subsistema terrestre

Se va a considerar las frecuencias ILS de 111.3 MHz y VDB de GBAS de 114.5 MHz.

Se va a considerar pérdidas de 106dB, según recomendado.

Se va a considerar potencia de transmisión ILS de 12W (valor actual real) y potencia de la VDB del GBAS de 50W (la calculada).

Distancia entre la antena VDB transmisora y la estación en la aeronave receptora de 23 millas aproximadamente.

Al superponer las dos simulaciones se obtiene que la cobertura GBAS es mayor que la cobertura del ILS (Figura 7). Por tanto, permite un mayor rango de operación y navegación aérea.

También se pudieron analizar los valores de intensidad de campo eléctrico los cuales reflejan que los niveles de campo eléctrico requerido son superiores para el caso del ILS.

Ventajas del sistema GBAS

El principal objetivo de este sistema es sustituir de manera armónica y eficiente los obsoletos sistemas de radioayuda a la navegación y que sea capaz de satisfacer las necesidades operativas más exigentes de la aviación. Los sistemas GBAS al basarse en las principales constelaciones (GPS) no necesita una gran infraestructura y es un sistema relativamente barato, físicamente compacto y autónomo. Ofrece un servicio de navegación muy preciso que puede ser utilizado para aumentar la seguridad de las operaciones de aproximación final y aterrizaje, así como permitir el aumento de la capacidad del tráfico aéreo en aéreas terminales. Entre sus principales ventajas podemos encontrar (UIT-R, 2019):

Aproximación en curva: permite el uso de aproximación en curva guiada, con guía tanto lateral como vertical.

Reducción de zonas críticas y sensibles: las restricciones del emplazamiento están más relacionadas con el bloqueo de la señal y con el efecto de multirayos, reducién-

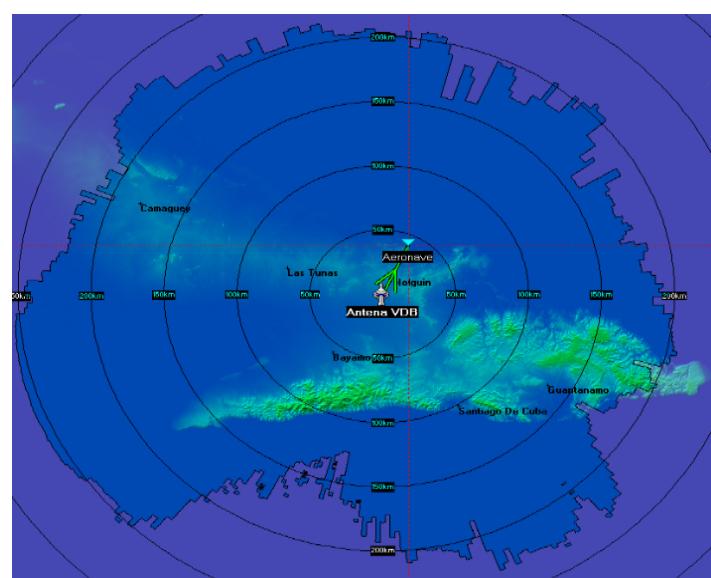


Figura 5. Cobertura de la señal ILS

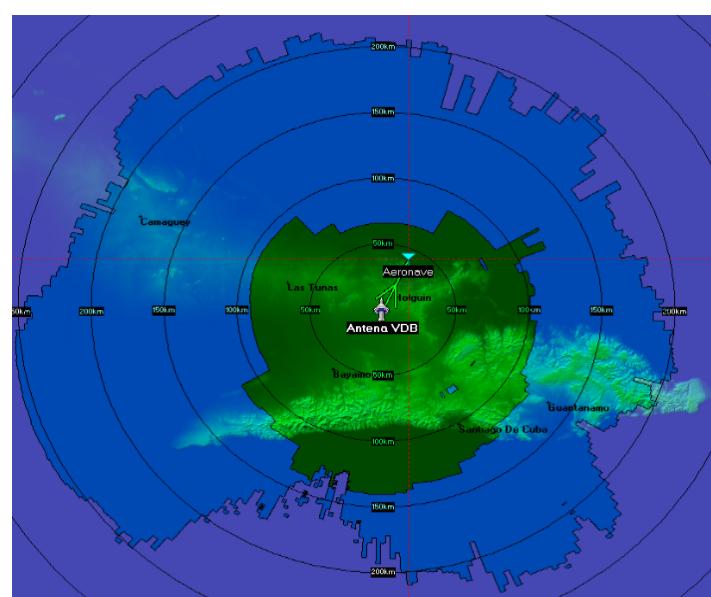


Figura 7. Superposición de las simulaciones

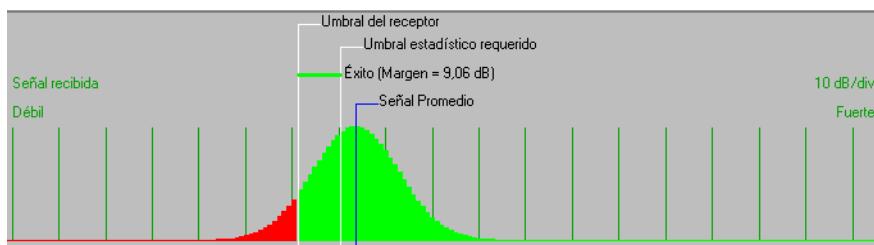


Figura 8. Valor promedio de la señal ILS

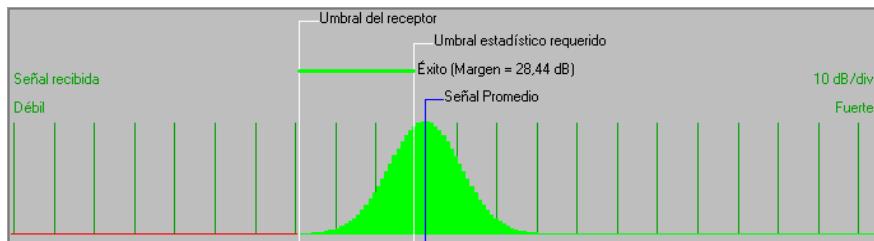


Figura 9. Valor promedio de la señal señal GBA

do así el impacto de las zonas críticas y sensibles y aumentando la capacidad operacional.

Mayor capacidad: permitirá llevar a cabo complejos procedimientos de aproximación dentro del área terminal del aeropuerto

Uso de aeropuertos adyacentes: permite brindar servicios a otros aeropuertos siempre y cuando se encuentren dentro de la cobertura de la señal VDB transmitida.

Servicio a varias pistas: puede ser configurado para transmitir un máximo de 48 aproximaciones con

distintas configuraciones, pudiendo atender a distintas pistas con diferentes parámetros de aproximación.

Conclusiones

El sistema GBAS posee amplias ventajas sobre los sistemas de radioayuda actuales. Las siguientes conclusiones son el resultado de los análisis y de la simulación realizada.

Se modeló un sistema de aumentación satelital basado en tierra para el aeropuerto Frank País de Holguín.

El sistema de aumentación satelital basado en tierra diseñado, cumple con todos los requisitos establecidos por la OACI para garantizar una alta eficiencia en su funcionamiento.

El sistema presenta una cobertura mayor respecto a los actualmente implementado en el aeropuerto de Holguín.

Se observó que los niveles de campo eléctrico presentado por el sistema ILS son mayores respecto a los del GBAS.

Referencias Bibliográficas

- OACI--GUIA PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE AUMENTACION BASADOS EN TIERRA, 2013.
- OACI: Anexo 10 Vol I--Radioayudas para la navegación, 2008.
- Casas, L. T. (2020). Diseño de un sistema regional de aumentación satelital basado en tierra GBAS/GRAS para la FIR Habana. Trabajo de Diploma, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Ciudad de la Habana, Cuba.
- UIT-R P.525-4, Recomendación (2019). Cálculo de la atenuación en el espacio libre.
- UIT-R M.1841-1, Recomendación (2013). Compatibilidad entre los sistemas de radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en la banda aproximada 87-108 MHz y el sistema aeronáutico de aumento basado en tierra en la banda 108-117,975 MHz.
- Rábanos, J. M. (2019). Transmisión por Radio. Sexta Edición (Editorial Universitaria Ramon Areces).
- Reinoso Díaz, A. (2019). Diseño de un Sistema de Aumentaciones Satelitales GBAS en el Aeropuerto Internacional José Martí de La Habana. Trabajo de Diploma, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Ciudad de La Habana, Cuba.