

# Diseño de un sistema de aumentación satelital GBAS/GRAS para la FIR Habana

Design of a GBAS/GRAS satellite augmentation system for the International Fair of Havana

Ing. Liban Tellez Casas <sup>1\*</sup>, DrC. José Armando Rodríguez Rojas <sup>2</sup>

Recibido: 12/2021 | Aceptado: 02/2022

## Palabras clave

GBAS

Sistema de aumentación satelital

GRAS

Control de tráfico aéreo

GNSS

## Resumen

Los sistemas convencionales de ayuda a la navegación aérea que se utilizan en Cuba no ofrecen un buen rendimiento ante el sostenido crecimiento de las operaciones aeroportuarias registradas en el país durante los últimos años. Debido a ello, se hace necesario contar con sistemas más actuales que sean capaces de brindar una mejor prestación de los servicios de aproximación y determinación de la posición de cara al aumento del tráfico aéreo en el país. En este estudio se realizó el diseño de un sistema regional de aumentación satelital basado en tierra que apoye operaciones en todas las fases de vuelo, incluyendo ruta, terminal y aproximación instrumental con guiado vertical. Para ello, se efectuó un análisis teórico de las características técnicas del GBAS, específicamente aquellas que permiten el desarrollo de un GRAS a partir de múltiples estaciones transmisoras GBAS con solapamiento de cobertura. Se verificaron los cálculos de radiopropagación para garantizar los requisitos técnicos previstos por la OACI, y se propusieron los emplazamientos del equipamiento terrestre en los aeropuertos de La Habana, Playa Baracoa, San Antonio de los Baños, Nueva Gerona, Cayo Largo del Sur, Varadero, Cienfuegos y Santa Clara. Los resultados alcanzados garantizan los procedimientos de aproximación y aterrizaje con precisión en los aeropuertos escogidos frente al incremento de las operaciones aeroportuarias, y también el servicio de determinación de la posición en todo el Occidente y parte de la región central del país.

## Abstract:

Conventional air navigation aid systems used in Cuba do not offer good performance given the sustained growth of airport operations registered in the country in recent years. Due to this, it is necessary to have more up-to-date systems capable of providing better provision of approach and position determination services in view of the increased air traffic in the country. In this study, the design of a regional ground-based satellite augmentation system to support operations in all phases

1\* Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA). C.P. 10800. [libancuba37@gmail.com](mailto:libancuba37@gmail.com)

2 Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA). C. P. 10800. [jose.rodriguez@aeronav.avianet.cu](mailto:jose.rodriguez@aeronav.avianet.cu)

## Keywords

GBAS

satellite augmentation system

GRAS

air traffic control,

GNSS

of flight, including route, terminal and instrument approach with vertical guidance, was carried out. For this, a theoretical analysis of the technical characteristics of GBAS was performed, specifically those allowing the development of a GRAS from multiple GBAS transmitting stations with overlapping coverage. The radio propagation calculations were verified to guarantee the technical requirements established by the ICAO, and the locations of the ground equipment were proposed in territorial different airports such as Havana, Playa Baracoa, San Antonio de los Baños, Nueva Gerona, Cayo Largo del Sur, Varadero, Cienfuegos and Santa Clara. The results achieved guarantee precision approach and landing procedures at the chosen airports in the face of increased airport operations, and also the position determination service throughout the West and part of the central region of the country.

## Introducción

En Cuba, el sistema que se utiliza para apoyar las maniobras de aproximación y aterrizaje en algunos aeródromos es el ILS (*Instrument Landing System*). Este presenta una serie de desventajas ante la creciente demanda de vuelos internacionales con destino hacia el país debido a las políticas encaminadas a desarrollar el sector turístico. En la región occidental, al cierre del año 2019, se registró un aumento del 24 % con un crecimiento sostenido del 6 %.

El ILS, que además es un sistema que apoya las operaciones de aproximación con precisión a la pista y aterrizaje, tiene el inconveniente de apoyar a la vez una operación por cada cabecera de la pista, ya que la trayectoria de la senda de planeo es única, por lo que no es posible adaptarla a las necesidades de las aeronaves o a la situación del terreno. Otra desventaja importante que presenta el ILS es que debido a la gran densidad de tráfico aéreo que hay en la actualidad el número de canales que tiene asignado no son suficientes, por lo que se ve limitado a la hora de cumplir los requisitos de capacidad y flexibilidad que requiere la industria aeronáutica. (Téllez, L. y Rodríguez, J. A., 2020).

Debido a las restricciones que el ILS presenta la aeronáutica civil internacional propuso un plan para sustituirlo por sistemas de aumentación satelital que realicen correcciones de seudorangeo y atmosféricas. Estos sistemas también pueden brindar servicios de navegación a grandes regiones del planeta y utilizan la información que proveen los sistemas de posicionamiento GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo para garantizar servicios de aproximación y aterrizaje (Krasuski, K., Ćwiklak, J., y Grzesik, N., 2018).

Los sistemas de aumentación satelital se clasifican en: SBAS —*Satellite Based Augmentation System*—, ABAS —*Aircraft Based Augmentation System*—, GBAS —*Ground Based Augmentation System*— y GRAS (del inglés Ground-based Regional Augmentation System), este último es un arreglo de múltiples estaciones transmisoras GBAS con solapamiento de cobertura. En el 2006 la OACI introduce al GRAS entre sus normas y métodos recomendados (SARPS) dentro de la sección perteneciente al GBAS y deja de relacionarlo estrictamente con el SBAS, propuesta inicial sugerida por Australia en los años noventa (Téllez, L. y Rodríguez, J. A., 2020), (Roturier, B., 2017).

Entre las mejoras que ofrece el GBAS en relación al ILS sobresale la reducción del punto de referencia de aproximación inicial —*IAF, Initial Approach Fix*— y el punto de referencia de aproximación final —*FAF, Final Approach Fix*— respecto al terminal de la pista. También destaca la posibilidad que presenta el GBAS de acceder a la senda de planeo del FAF desde varios ángulos (Matsuda, K., 2019)

El GRAS es un sistema sumamente novedoso, el cual aún no cuenta con ninguna implementación en aeropuertos del mundo. Su documentación es escasa, siendo la principal el Anexo 10 Volumen I “Radioayudas para la navegación” de la OACI. La presente investigación se inserta en el proceso de renovación tecnológica que lleva a cabo la industria aeronáutica internacional en aras de proporcionar altos niveles de seguridad e integridad en sus servicios. Por lo que se propone el diseño de un sistema regional de aumentación satelital GBAS/GRAS que contemple los aeródromos de La Habana, Playa Baracoa, San

Antonio de los Baños, Nueva Gerona, Cayo Largo del Sur, Varadero, Cienfuegos y Santa Clara.

## Materiales y métodos

La OACI en el Anexo 10 Volumen I “Radioayudas para la navegación”, define al GRAS como un sistema que soporta operaciones de GPS, GLONASS y Galileo en todas las fases de vuelo, incluyendo ruta, terminal y aproximación instrumental con guiado vertical (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018). Otra característica de este, es que permite una recepción continua sobre un área geográfica de hasta 1200 km y se compone de múltiples estaciones GBAS con solapamiento de cobertura.

GBAS, por su parte, sustituye al ILS para maniobras de aproximación con precisión y aterrizaje al proveer servicios CATI/CATII/CATIII a la vez a un máximo de 48 aeronaves próximas al aeropuerto con una apreciable mejora en la precisión e integridad de la información de posición que brindan los GNSS (Durba, P., 2021). Por definición, GBAS presenta un radio de alcance de 23 NM (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018), aunque en 2021 la agencia australiana Aircservices dio a conocer que en pruebas de campo se alcanzó una distancia de uso máximo de 50 NM para asesoramiento fuera del volumen de servicio de aproximación (Young, G., et al., 2021).

GBAS se divide en tres subsistemas: satelital, terrestre y de aeronave. El subsistema de aeronave GBAS se compone del receptor de a bordo y el satelital de las constelaciones GPS, GLONASS y Galileo. El subsistema terrestre incluye varias antenas de referencia GNSS, un sistema de procesamiento central y una estación de transmisión de datos diferenciales.

Las antenas de referencia GNSS reciben en tiempo real las señales de las constelaciones satelitales y envían los datos de observación y los parámetros de efemérides al sistema de procesamiento central. Este calcula las correcciones de pseudodistancia y fase de portadora, supervisa la integridad del GBAS y genera los parámetros de integridad. Finalmente, los parámetros de integridad y las correcciones de pseudodistancia se transmiten a los usuarios en el espacio aéreo a través de la estación de transmisión diferencial de datos (Hu, J., et al., 2018).

Con el objetivo de comprobar la viabilidad del empleo de un sistema de aumentación satelital en Cuba y garantizar el buen funcionamiento de los receptores

GNSS que formarán parte del GBAS/GRAS, se examinó mediante el software analizador de datos GPS U-Center, el estado de los satélites que se encontraban visibles sobre el cielo del aeropuerto internacional de la Habana “José Martí”. En la Figura 1. se observa el alto número de satélites GPS (en total 11) que se encontraban orbitando sobre esta zona geográfica y la buena geometría para dilución de la precisión —*DOP*, *Dilution of precision*— que presentaban: 1,1 para la dilución horizontal de precisión (HDOP) y 2,5 para dilución de precisión de posición (PDOP). Estos resultados aseguran un buen desempeño para el subsistema satelital del GBAS/GRAS.

Para la instalación del equipamiento terrestre se propuso la solución SmartPath GBAS de la compañía Honeywell. Este es el único equipamiento para sistemas de navegación por satélite y aterrizaje de precisión por satélite del mundo que cuenta con certificación para su uso. El actual SmartPath SLS-4000 GBAS tiene licencia para el aterrizaje de precisión de Categoría 1 (CAT I), y presenta una actualización técnica en desarrollo definida para cumplir requisitos de CAT II/III GBAS (Underwood, M., 2019).

Los componentes del SmartPath SLS-4000 pueden ubicarse de varias formas por toda el área seleccionada, dependiendo solamente de las características del terreno de los aeródromos. Honeywell dicta que para no interferir y no afectar las prestaciones del sistema GBAS, las distancias entre los diferentes elementos deben ser de: 100 a 200 m entre cada receptor o antenas de referencia GNSS, 1300 m máximo entre los receptores y la estación monitorea SLS-4000 (Shelter), y 200 m máximo entre la Shelter y el transmisor VDB GBAS, tal como se muestra en la figura 2.

## Características y formato de mensajes GBAS/GRAS

El GBAS/GRAS opera en la banda de 108 a 117 MHz con una separación entre canales de 25 kHz, siendo la frecuencia mínima asignable de 108.025 MHz y la máxima de 117.950 MHz. Las intensidades de campo mínima y máxima están en consonancia con una sensibilidad mínima de receptor de -87 dBm, y una distancia mínima de 200 m de la antena del transmisor con un alcance de cobertura de 43 km. La intensidad de campo mínima tiene un valor de 46.6 dB (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018).

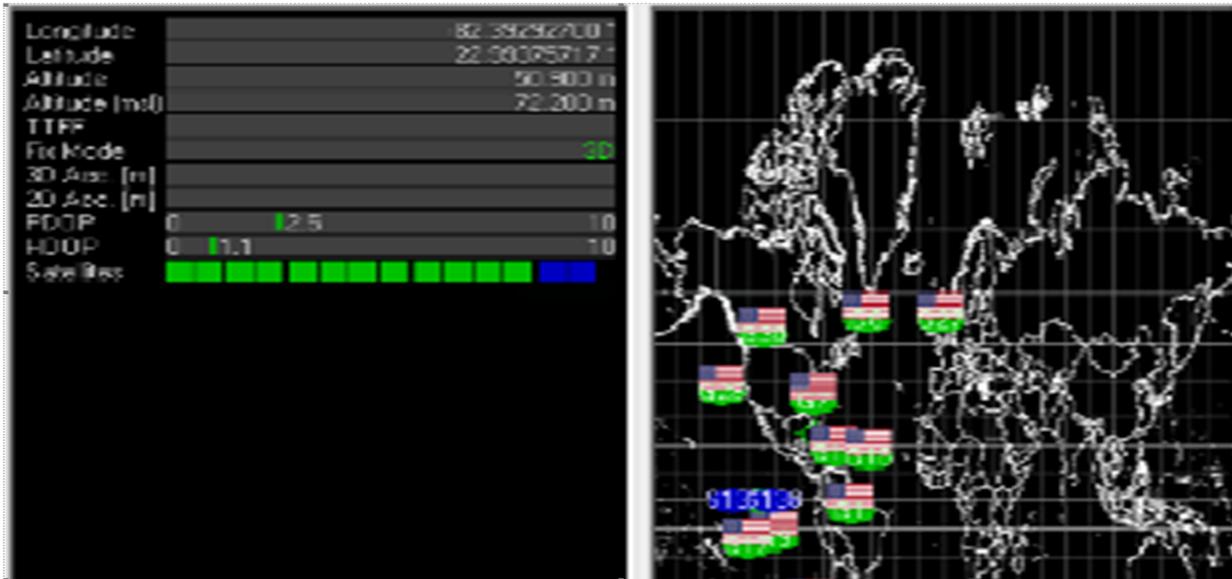


Figura 1. Estado de las constelaciones GPS, EGNOS y WAAS sobre el cielo del aeropuerto internacional de la Habana “José Martí”

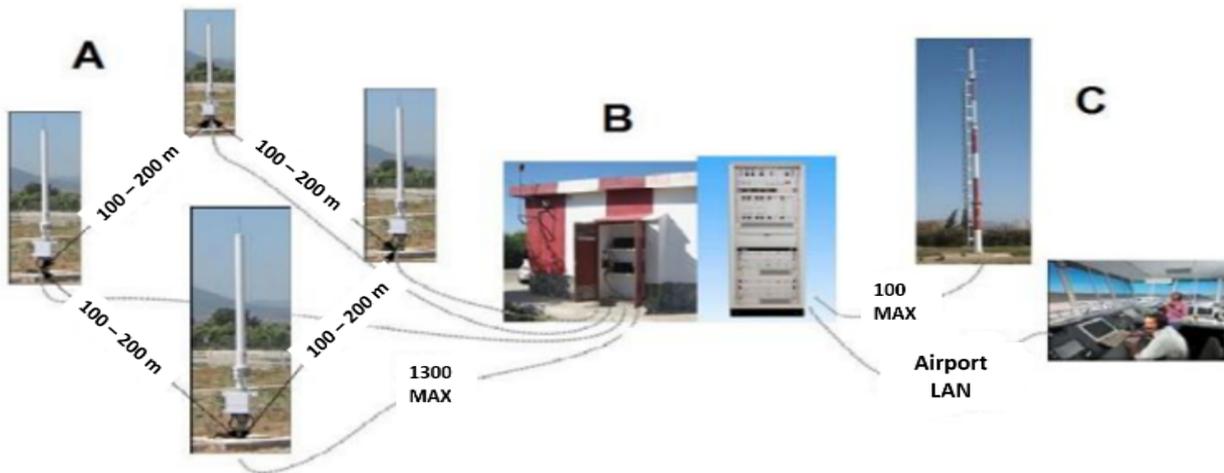


Figura 2. Componentes de la solución SmartPath SLS-4000 GBAS de Honeywell.

Se definen para el GBAS 256 tipos de mensajes, de estos poseen relación con el GRAS el mensaje de tipo 101, el cual proporciona los datos de corrección diferencial para cada una de las fuentes telemétricas GNSS —*Global Navigation Satellite System*—. El mensaje de tipo 2 identifica el emplazamiento del punto de referencia GBAS al que se aplican las correcciones. Además, provee otros datos como la cantidad de receptores de referencia que posee el sistema y el bloque de datos adicional 2 donde se dan las especificaciones para las estaciones de referencia GRAS.

La información del bloque de datos adicional 2 posibilita que el receptor de a bordo identifique los emplazamientos de la estación de radiodifusión GBAS de la que se reciben los datos y de otras estaciones de

radiodifusión GBAS adyacentes o cercanas. Permite realizar operaciones con una o más estaciones VDB —*VHF Data Broadcast*— GBAS dentro de la región de operación del GRAS. Además, identifica los números de canal, los cuales dependen de la frecuencia de operación del sistema y del RSDS —*Reference Station Data Selector*— (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018), (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018).

### Criterios de asignación de frecuencias

Para determinar la frecuencia de operación de los transmisores del sistema GRAS es necesario analizar los criterios de separación geográfica del transmisor VDB GBAS respecto al ILS y al VOR que se en-

cuentran en los SARPS, puesto que operan en la misma banda de frecuencia. Aunque las orientaciones de compatibilidad concluyentes no están elaboradas aún, la OACI establece que las directrices a tener en cuenta para la asignación de canales VDB son: la separación de frecuencias entre el ILS, el VOR y el VDB; el área de cobertura del ILS y el VDB GBAS; y las intensidades de campo del VOR, VDB e ILS.

Por ende, mientras no concluya la elaboración de estos criterios de asignación el Anexo 10 Volumen I “Radioayudas para la navegación” de la OACI dicta una serie de requisitos a cumplir. Respecto al ILS, se recomienda que se utilicen canales por encima de 112.025 MHz con una separación de frecuencia mínima de 75 kHz. Sobre el VOR, se plantea que la separación geográfica entre este y el VDB GBAS depende de la diferencia entre las frecuencias de estos, y que en casos donde tal diferencia sea de 100 kHz o más no existirán restricciones. Para la coexistencia entre estaciones VDB GBAS se propone utilizar distancias que se correspondan al horizonte de radio (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018), (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018).

Una vez definida la frecuencia de operación del subsistema terrestre, se procedió a realizar los cálculos de radiopropagación pertinentes para asegurar el cumplimiento de las características técnicas que se mencionaron anteriormente. Se emplearon de apoyo para tal fin, los datos contenidos en la Tabla 1 en conjunto

a las ecuaciones (1 a 5). Luego de ello, se proponen las coordenadas terrestres para el emplazamiento del subsistema terrestre, y mediante el software ASTools se realizan las simulaciones de cobertura a 500, 1000 y 3000 m de altura respectivamente.

## Resultados y discusión

A partir de las recomendaciones para separación geográfica vistas anteriormente se optó por una frecuencia igual a 115 MHz para todas las estaciones VDB que conformarán el sistema GBAS/GRAS. Las frecuencias de trabajo del VOR y el localizador ILS existentes en los aeropuertos en estudio se muestran en la figura 3.

### Pérdidas por espacio libre

En la recomendación UIT-R P.525-2, se especifica que para los enlaces punto a punto es preferible calcular las pérdidas básicas de transmisión en el espacio libre de la manera siguiente:

$$L_{bf} = 20 \log(4 \pi d / \lambda)$$

donde:

$L_{bf}$ : pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

$d$ : distancia (km)

$\lambda$ : longitud de onda (m)

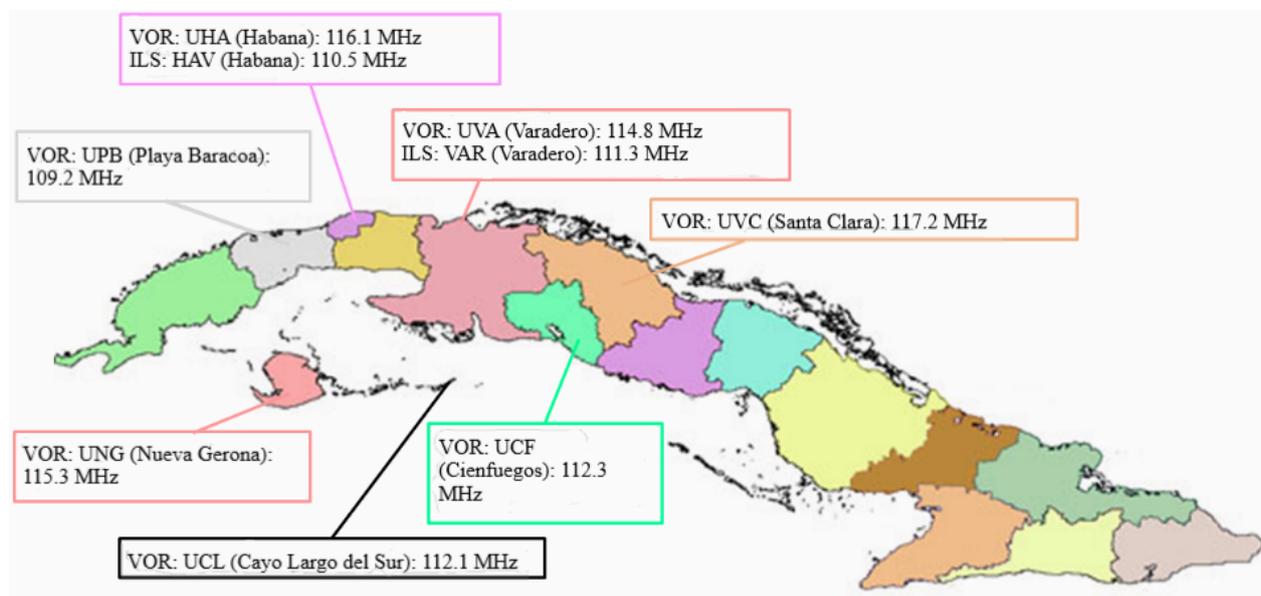


Figura 3. Frecuencias del VOR y localizador ILS existentes en los aeropuertos en estudio

Según la Tabla 1, la pérdida por trayecto libre en el espacio a 43 km es igual a 106 dB. En este cálculo se comprueba que la frecuencia de trabajo de 115 MHz seleccionada para las VDB de los subsistemas terrestres GBAS (subsistema terrestre del GRAS) garantiza este valor de pérdidas.

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3 \times 10^8 / 115 \text{ MHz} = 2.61 \text{ m}, \text{ se sustituye en (5),}$$

entonces:

$L_{br} = 20 \log(4 \pi \times 42000 / 2.6) = 106.12 \text{ dB}$ . Se mantuvo el propósito de emplear 115 MHz como la frecuencia de trabajo.

### Pérdidas básicas

Para determinar las pérdidas básicas se supone visibilidad directa entre el receptor y la VDB. Se definió por (Hernando-Rábanos, J. M., et. al., 2019):

$$L_b = 42.6 + 20 \log d(\text{Km}) + 20 \log f(\text{MHz})$$

$$L_b = 42.6 + 20 \log 42 + 20 \log 115$$

$$L_b = 116.2 \text{ dB}$$

También se corroboró el uso de una frecuencia de 115 MHz para el sistema. El valor de pérdidas básicas que se calculó es equivalente a la suma de los valores de pérdidas considerados en el análisis: margen de desvanecimiento y pérdida por trayecto libre en el espacio (ver Tabla 1).

### Cálculo de PIRE

En el documento UIT-R M.1841 se especifica que la intensidad de campo eléctrica mínima a asegurar es

de 215  $\mu\text{V/m}$  (46.6 dB). Además, se define el cálculo de la intensidad de campo en el espacio libre para las señales de radiodifusión como:

$$E = 76.9 + \text{PIRE} - 20 \log d - 20 \text{ dB}$$

$$46.6 = 76.9 + \text{PIRE} - 20 \log 42 - 20$$

$$\text{PIRE} = 46.6 - 76.9 + 20 \log 42 + 20$$

$$\text{PIRE} = 22.16 \text{ dBw}$$

El valor del PIRE brinda una idea de la potencia máxima de transmisión necesaria para garantizar los requisitos de alcance de cobertura (42 km) y de campo eléctrico (46  $\mu\text{dB}$ ). De este resultado se infirió que con una potencia máxima de transmisión de 22 dBw se garantizan los 42 km exige la OACI para la prestación del servicio de aproximación, y los 46.6 dB $\mu$  de intensidad de campo eléctrico mínimo. A medida que el receptor de a bordo se acerque al transmisor VDB, el valor de intensidad de campo eléctrico aumentará.

### Cálculo de enlace

La Tabla 1, tomada del Anexo 10 Volumen I “Radioayudas para la navegación” de la OACI, contiene los balances de enlace de las componentes vertical y horizontal en el borde de la cobertura. Se supone un receptor a 3000 m (10000 ft) de altura MSL —*Mean Sea Level*— y una antena transmisora diseñada para suprimir iluminación de tierra con el objetivo de limitar las pérdidas por desvanecimiento a un máximo de 10 dB en el borde de la cobertura.

Elementos de enlace VDB	Balance de enlace del componente vertical en el borde de la cobertura	Balance de enlace del componente horizontal 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 (dBm)	-76	-72
Margen operativo (dB)	3	3
Margen de desvanecimiento (dB)	10	10
Pérdida por trayecto libre en el espacio (dB) a 43 km (23 NM)	106	106

Tabla 1. Balance nominal de VDB

Al realizar el balance energético de un radioenlace se definen varios parámetros, estos son:

$P_r$ : Potencia percibida por el receptor

$P_t$ : Potencia que entrega el amplificador del transmisor a los circuitos de acoplamiento a la antena.

$L_{tr}$  y  $L_{tr}$ : Pérdidas en los circuitos de acoplamiento a la antena del transmisor y el receptor respectivamente

$G_t$  y  $G_r$ : Ganancias de las antenas de transmisión y de recepción respectivamente con radiación isotrópica.

La ecuación de balance es:

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) - L_{tr}(dB) + G_t(dB) - L_b(dB) + G_r(dB) - L_{tr}(dB)$$

Se consideró que la propagación de la señal ocurre con visibilidad directa, es decir, con fenómenos de difracción despreciables, con lo que se asume que no existen obstáculos dentro del primer elipsoide de Fresnel. Por tanto, se tomó solamente para el caso de las pérdidas básicas de propagación, la pérdida de espacio libre y la pérdida por desvanecimiento.

El transmisor VHF del equipamiento GBAS a elegir deberá tener una potencia de salida tal que, para una cobertura lateral de 23 NM, vertical de 1000 ft y señal de radiodifusión con polarización horizontal se puedan mantener los parámetros calculados con anterioridad. Para ello se determinó mediante un balance energético el cumplimiento del requisito de cobertura lateral definido en los SARPS para cada estación GBAS.

$P_r = -87 dBm$  (sensibilidad),  $E(dB\mu) = 46.6$ ,  $L_b = 116 dB$  y dado que:

$$P_t(dBm) = 10 \log P(W)$$

Asumiendo que  $L_{tr} = 0 dB$  y  $G_t = 0 dBi$ , se tiene:  
 $-87 dBm = P_t - 0 dB + 0 dBi - 116 dB + 0 dBi - 15 dB - 3 dB$   
 se obtuvo como resultado  $P_t(dBm) = 47 dBm$  ( $P_t(W) = 50 W$ ).

De esta forma, se llegó a la conclusión que, para conseguir una cobertura de 23 NM, se necesitan 50 W de potencia a la salida del transmisor VHF de la estación VDB de cada GBAS. Se logró garantizar que la potencia a la entrada del amplificador de radiofrecuencia del receptor de a bordo sea igual a su sensibilidad (-87 dBm).

### Ubicación en el terreno

En las Tablas (2a. - 2d.) se aprecian las coordenadas de las localizaciones propuestas para cada componente del SmartPath SLS-4000 en los aeropuertos que comprenden el estudio. Debido a las características propias de los aeródromos en los que se montarán los subsistemas terrestres GBAS, a la hora de ubicar los elementos, se buscó un espacio entre las cabeceras que estuviera dentro del perímetro de cada uno de estos para garantizar la protección física de los componentes.

En los casos en que existe en uno de los extremos de la pista un sistema VOR o localizador ILS (aeródromos de Baracoa, Cienfuegos, Santa Clara, Varadero, La Habana, Nueva Gerona, Cayo Largo del Sur), se disponen estos de forma lineal paralelos a las pistas, las que generalmente alcanzan los 4 km. Esto es, las antenas de referencia GNSS, luego la Shelter, y a continuación la antena VDB GBAS, lo que garantiza

Estación	GBAS Cienfuegos		GBAS Santa Clara	
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD
VOR/DME	22°09'16.84"N	80°24'21.81"W	22°29'14.96"N	79°57'37.69"W
Localizador ILS	-	-	-	-
Shelter	22°8'43"N	80°24'54"W	22°29'37"N	79°56'30"W
VDB	22°8'44"N	80°24'54"W	22°29'36"N	79°56'32"W
Rx GNSS 1	22°8'47"N	80°24'52"W	22°29'34"N	79°56'41"W
Rx GNSS 2	22°8'51"N	80°24'51"W	22°29'32"N	79°56'45"W
Rx GNSS 3	22°8'54"N	80°24'50"W	22°29'32"N	79°56'50"W
Rx GNSS 4	22°8'58"N	80°24'49"W	22°29'32"N	79°56'54"W

Tabla 2a. Coordenadas GBAS. Aeródromos de Cienfuegos y Santa Clara.

Estación	GBAS Varadero		GBAS Playa Baracoa	
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD
VOR/DME	23°01'28.79"N	81°28'26.28"W	20°21'26.24"N	74°30'15.84"W
Localizador ILS	23°02'40.92"N	81°25'8.43"W	-	-
Shelter	23°02'17"N	81°25'37"W	23°02'01"N	82°34'41"W
VDB	23°02'17"N	81°25'40"W	23°02'03"N	82°34'41"W
Rx GNSS 1	23°02'12"N	81°25'45"W	23°02'10"N	82°34'38"W
Rx GNSS 2	23°02'10"N	81°25'51"W	23°02'14"N	82°34'36"W
Rx GNSS 3	23°02'06"N	81°25'55"W	23°02'20"N	82°34'34"W
Rx GNSS 4	23°02'04"N	81°25'59"W	23°02'24"N	82°34'32"W

Tabla 2b. Coordenadas GBAS. Aeródromos de Varadero y Playa Baracoa.

Estación	GBAS Nueva Gerona		GBAS San Antonio de los Baños	
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD
VOR/DME	21°50'05.56"N	82°46'51.08"W	-	-
Localizador ILS	-	-	-	-
Shelter	22°29'37"N	79°56'30"W	22°51'08"N	82°32'12"W
VDB	22°29'36"N	79°56'32"W	22°51'08"N	82°32'10"W
Rx GNSS 1	22°29'34"N	79°56'41"W	22°51'12"N	82°32'04"W
Rx GNSS 2	22°29'32"N	79°56'45"W	22°51'16"N	82°32'00"W
Rx GNSS 3	22°29'32"N	79°56'50"W	22°51'18"N	82°31'55"W
Rx GNSS 4	22°29'32"N	79°56'54"W	22°51'21"N	82°31'51"W

Tabla 2c. Coordenadas GBAS. Aeródromos de Nueva Gerona y San Antonio de los Baños.

Estación	GBAS La Habana		GBAS Cayo Largo del Sur	
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD
VOR/DME	22°58'43.82"N	82°25'35.93"W	21°36'18.07"N	81°31'57.71"W
Localizador ILS	23°00'03.95"N	82°23'27.90"W	-	-
Shelter	22°58'46"N	82°25'15"W	21°36'50"N	81°32'18"W
VDB	22°58'46"N	82°25'16"W	21°36'49"N	81°32'16"W
Rx GNSS 1	22°59'03"N	82°24'50"W	21°37'08"N	81°32'55"W
Rx GNSS 2	22°58'58"N	82°24'58"W	21°37'06"N	81°32'52"W
Rx GNSS 3	22°58'55"N	82°25'03"W	21°37'04"N	81°32'48"W
Rx GNSS 4	22°58'51"N	82°25'06"W	21°37'02"N	81°32'44"W

Tabla 2d. Coordenadas GBAS. Aeródromos de La Habana y Cayo Largo del Sur.

siempre la distancia correcta entre el VOR y/o el localizador ILS, los que debido a la compatibilidad electromagnética se recomienda estén a 1 km y 3 km respectivamente del transmisor GBAS. En el caso del aeródromo de San Antonio de los Baños, aunque no cuenta con sistema ILS ni VOR, se prefirió escoger una formación lineal dada las características del terreno.

### Simulación de cobertura

En la figura 4. se observa la simulación de cobertura que se realizó con el software ASTools al subsistema terrestre GRAS formado por las estaciones terrestres GBAS propuestas en el acápite anterior. Los valores de los parámetros que se emplearon para la simulación fueron: Potencia del Transmisor: 50w / Sensibilidad del Receptor: -87 dBm / Ganancia de las antenas de transmisión y recepción: 0 dB / Pérdidas en

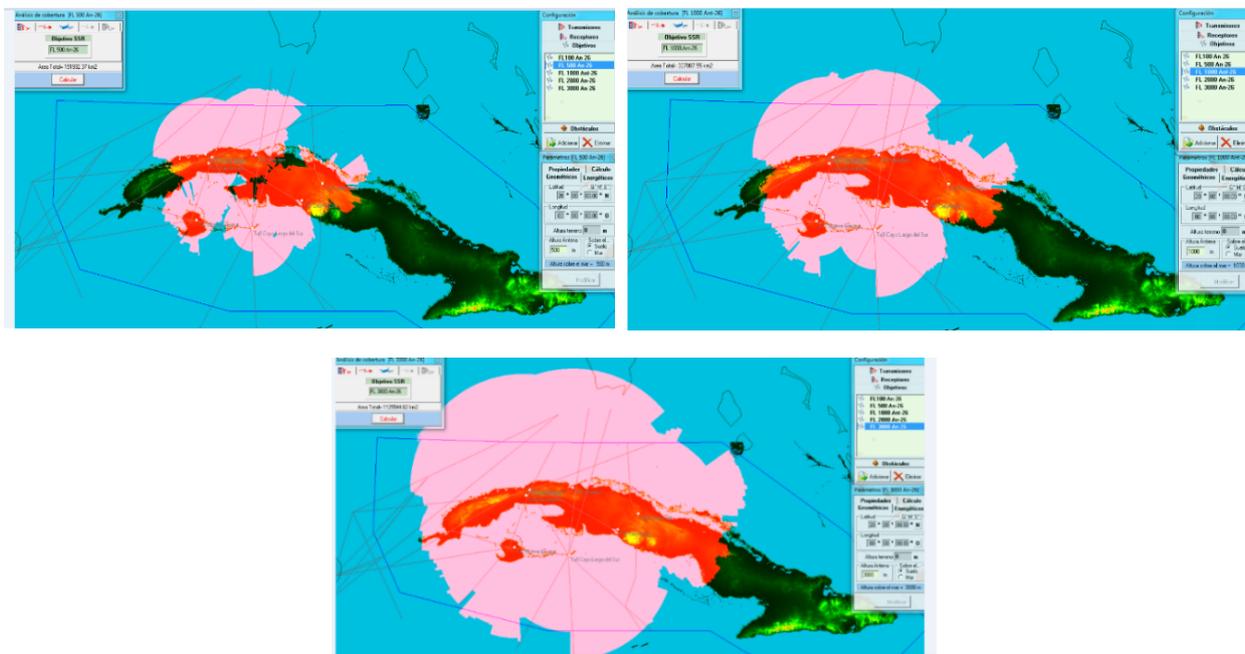


Figura 4. Simulación de cobertura a 500 m, 1000 m y 3000 m de altura.

las líneas de transmisión y conectores: 0 dB / Altura del receptor: 500 m, 1000 m, 3000 m.

En la figura 4. se aprecia el amplio alcance de cobertura que tendrá el sistema a una altura de 3000 m, la cual abarca todo el Occidente y gran parte de la región Central del país. En toda esta región se podrán proveer servicios de determinación de la posición a las aeronaves y múltiples trayectorias de aproximación a las pistas de los aeródromos que forman parte del sistema GBAS/GRAS.

## Conclusiones

La propuesta de desarrollar un GRAS a partir de la concatenación de estaciones transmisoras VDB GBAS con solapamiento de cobertura, provee una amplia región operativa con servicios de determinación de la

posición y rutas de aproximación, así como múltiples entradas a las pistas de los aeródromos.

Esta investigación presenta una gran importancia para Cuba, ya que proporciona una novedosa solución ante la problemática del aumento del tráfico aéreo en el territorio cubano. Aunque el GBAS/GRAS no se encuentra instalado aún en ningún aeropuerto del mundo, este es el sistema de aumentación satelital que mejor se adapta a las condiciones económicas de nuestro país: el ABAS es una solución tecnológica a la aeronave y el SBAS necesita de arrendar satélites geostacionarios para su funcionamiento.

Con respecto al ILS, el sistema GBAS supone costos de instalación, mantenimiento y reparación significativamente menores por lo que su sustitución, además de tecnológica también supone mejoras para la economía del país.

## Referencias bibliográficas

- Téllez, L. y Rodríguez, J. A. (2020). "Diseño de un sistema regional de aumentación satelital basado en tierra GBAS/GRAS para la FIR Habana". Trabajo presentado en Conferencia Anual de Tecnologías de la Información, Multimedia y de Telecomunicaciones LACETEL.
- Krasuski, K., Ćwiklak, J., y Grzesik, N. (2018). Accuracy assesment of aircraft positioning by using the DGLONASS method in the GBAS system. *Journal of KONBIN*, 45(1), 97-124. doi: 10.2478/jok-2018-0006.

- Roturier, B. (2017). 15 years of experience of GNSS approach procedures implementation: where are we now? Conferencia llevada a cabo en International Technical Symposium on Navigation and Timing (ITSNT).
- Matsuda, K. (2019). Example of benefit on GBAS applied flight operation procedure. Conferencia llevada a cabo en International GBAS Working Group Meeting: IGWG 20.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional: Radioayudas para la navegación. Volumen I, Séptima edición, 1-672. ISBN: 978-92-9256-233-3.
- Durba, P. (2021). SESAR PJ14-W2-79 DF/MC GBAS Scope, activities and status. Conferencia llevada a cabo en LATO35.
- Young, G., Benecke, J., y Kapoor, R. (2021). Landing and Take-Of Focus Group (LATO/35) Virtual Meeting. Conferencia llevada a cabo en LATO35.
- Hu, J., Sun, Q., y Shi, X. (2018). Differential Positioning Algorithm for GBAS Based on Extended Kalman Filtering. Trabajo publicado en Proceedings of the 2018 13th World Congress on Intelligent Control and Automation. 296-303, doi: 10.1109/WCICA.2018.8630396.
- Underwood, M. (2019). Honeywell GBAS Update, Conferencia llevada a cabo en 20th International GBAS Working Group.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). *Adopción de la Enmienda 91 del Anexo 10 Vol. I.*
- Hernando-Rábanos, J. M., Riera-Salís, J. M., y Mendo-Tomás, L. (2019) *Transmisión por radio*. Madrid, España: Centro de Estudios Ramón Areces.

