

# CIENCIA Y TECNOLOGÍA AERONÁUTICA

## Estudio del sistema de aumentación Satelital GBAS para todas las cabeceras de las pistas aéreas que conforman la guarnición de Bogotá

TE. LUISA FERNANDA DÍAZ CARVAJAL<sup>4</sup>, HEYDY JOHANNA RODRÍGUEZ PAREDES<sup>5</sup>, RAFAEL CAMERANO<sup>6</sup>

### ABSTRACT

This work presents a technical feasibility study of utilization of a system of augmentation satellite GBAS for the eight heads of the following airports El Dorado, Madrid and Guaymaral. The analysis of cover is performed using the software Pathloss 4.0 whose license belongs to the Civil Aeronautics in order to determinate the viability and the optimum location to install a GBAS station to be utilized on the approximations with precision in the mentioned airports.

### KEYWORDS

Approximation of Precision, Satellite augmentation, Study of Cover, GBAS, GNSS, GPS, NAVDATA.



Figura 1: Constelación Navstar. [1]

### RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio de viabilidad técnica de utilización de un sistema de aumentación satelital GBAS para las ocho cabeceras de las pistas de los aeropuertos El Dorado, Madrid y Guaymaral. Se efectúa un análisis de cobertura mediante el software Pathloss 4.0 cuya licencia pertenece a la Aeronáutica Civil con el fin de determinar la viabilidad y la ubicación óptima para la instalación de una estación GBAS que sea utilizada en las aproximaciones de precisión realizadas en los aeropuertos en mención.

**PALABRAS CLAVE:** Aproximación de Precisión, Aumentación Satelital, Estudio de Cobertura, GBAS, GNSS, GPS, NAVDATA, Trama de datos.

### 1. INTRODUCCIÓN

Todas las actividades desarrolladas en la industria del transporte aéreo constituyen un papel fundamental en las actividades económicas de nuestro país, porque es uno de los sectores de mas rápido crecimiento a nivel mundial, por ello se requiere que la Aeronáutica Civil disponga de un sistema de navegación aérea operacionalmente seguro, protegido y eficiente.

### 2. CONTENIDO

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### GPS

El sistema GPS (*Sistema de Posicionamiento Global*) es un sistema compuesto por una red de 24 satélites denominada NAVSTAR, situados en una órbita a unos 20.200 Km. de la Tierra, y unos receptores GPS, que permiten determinar nuestra

4. Ingeniera de Sistemas y Computación de la Universidad de los Andes. Sus temas de interés son administración de redes LAN y WAN. Se puede contactar en [lfdiaz@uniandes.edu.co](mailto:lfdiaz@uniandes.edu.co), [luis-diaz@uniandes.edu.co](mailto:luis-diaz@uniandes.edu.co), Comandante del Escuadrón Telemática ESI FA.

5. Ingeniera de Telecomunicaciones de la Universidad de los Andes. Sus temas de interés son todos los relacionados con las tecnologías de la información y comunicación. Se puede contactar en [heydyr@holmail.com](mailto:heydyr@holmail.com), [ha-rodr@uniandes.edu.co](mailto:ha-rodr@uniandes.edu.co).

6. Universidad de los Andes [camerano@uniandes.edu.co](mailto:camerano@uniandes.edu.co).



Los datos que fueron necesarios de incluir en el software Path Loss 4.0 se mencionarán a continuación:

Tabla 1. Parámetros para El Dorado / Cerro Suba

Parámetros	Valores
Site Name	DORADO
Sector number	1
Latitude	04° 42' 48.21" N
Longitude	74° 09' 07.22 "W
Distance(Km)	55
Distance Increment (Km)	1
Star Azimut	0
End Azimut	357.5
Azimut Increment	1
Polarization	Vertical
Base Antenna Height(m)	50
Mobile Antenna Height(m)	De acuerdo a la altura de la aeronave
Frequency(Mhz)	113
K	1.33
Base Antenna Gain(dBd)	
Mobile Antenna Gain (dBd)	
Tx Power (dBm)	50

Tabla 2. Parámetros para MADRID

Parametros	Valores
Site Name	MADRID
Sector number	1
Latitude	04° 43' 22.26" N
Longitude	74° 17' 00.02 "W
Distance(Km)	55
Distance Increment (Km)	1
Star Azimut	0
End Azimut	357.5
Azimut Increment	1
Polarization	
Base Antenna Height(m)	
Mobile Antenna Height(m)	De acuerdo a la altura de la aeronave
Frequency (Mhz)	113
K	1.33
Base Antenna Gain(dBd)	
Mobile Antenna Gain (dBd)	
Tx Power (dBm)	

Tabla 3. Parámetros para Guayamaral

Parametros	Valores
Site Name	GUAYMARAL
Sector number	1
Latitude	04° 48' 51.56" N
Longitude	74° 04' 21.52 "W
Distance(Km)	55
Distance Increment (Km)	1
Star Azimut	0
End Azimut	357.5
Azimut Increment	1
Polarization	
Base Antenna Height(m)	
Mobile Antenna Height(m)	De acuerdo a la altura de la aeronave
Frequency(Mhz)	113
K	1.33
Base Antenna Gain(dBd)	
Mobile Antenna Gain (dBd)	
Tx Power (dBm)	

Se colocó una distancia de 55Kms que corresponden a (30MN), una Potencia de transmisión de 50dBm, polarización vertical, una frecuencia de 113 Mhz. Para las pistas de Madrid (2) y Guayamaral (2) no se colocó potencia de transmisión. Para obtener el análisis de la cobertura fue necesario cargar los 3 archivos (Madrid, Guayamaral y Dorado) teniendo en cuenta que en cada una de ellas se tuviera la misma altura.

UBICACIÓN ESTACIÓN DE REFERENCIA EN EL AEROPUERTO EL DORADO Y UNA EN SUBA.

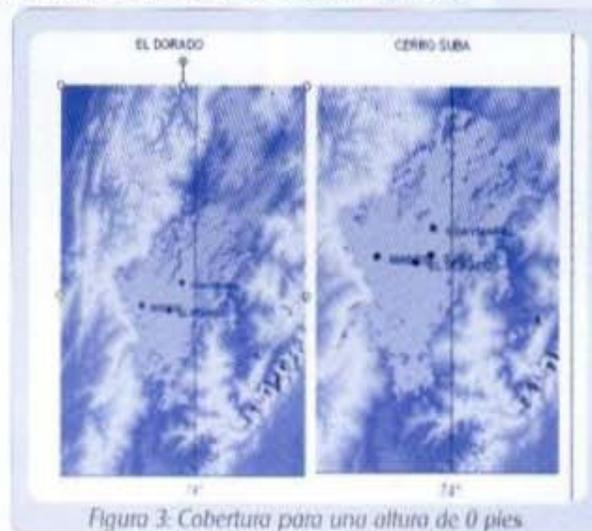


Figura 3. Cobertura para una altura de 0 pies

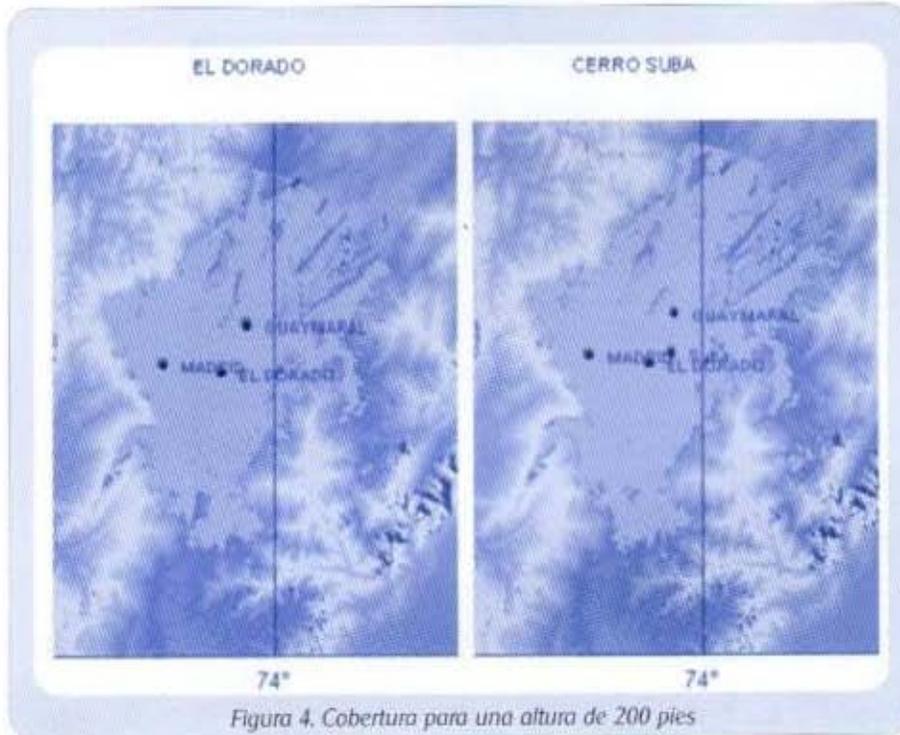


Figura 4. Cobertura para una altura de 200 pies

Lo verde indica un nivel de señal superior a  $75\mu\text{V/m}$ . El área roja indica un nivel de señal entre  $50\mu\text{V/m}$  y  $75\mu\text{V/m}$ , mientras que las zonas que no están cubiertas significa que el nivel de la señal es inferior a  $50\mu\text{V/m}$ . Para efectuar una aproximación de precisión es necesario que el nivel de la señal esté por encima de  $75\mu\text{V/m}$  y además se garantice comunicación entre la estación y la aeronave cuando ésta se encuentra a una altura superior o igual a los 200 pies. El gráfico anterior nos indica que hay cubrimiento en los tres aeródromos aún cuando las aeronaves estén parqueadas.

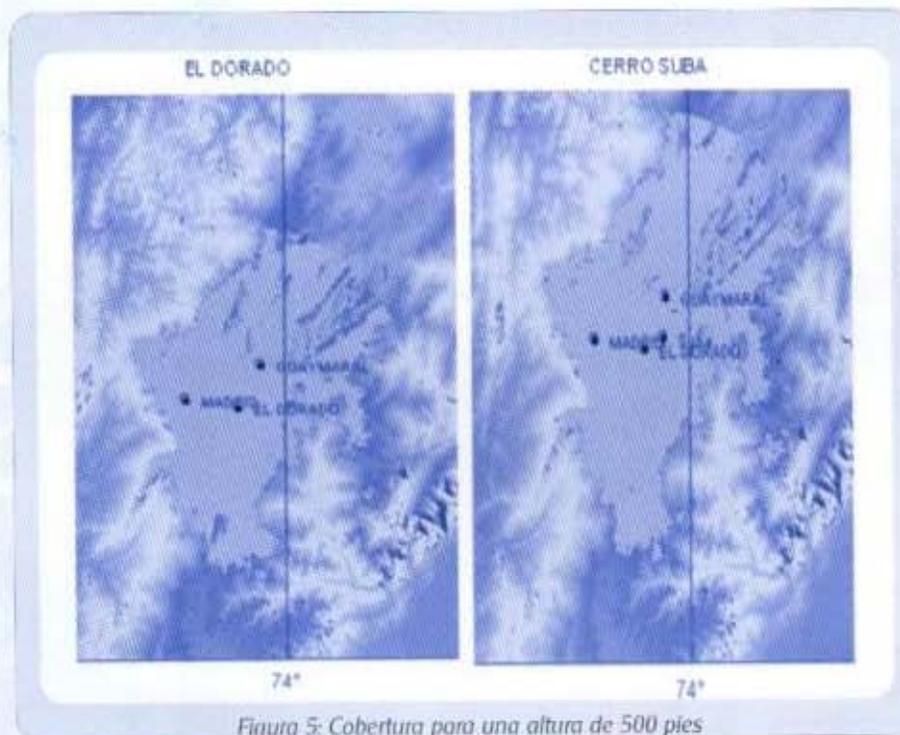
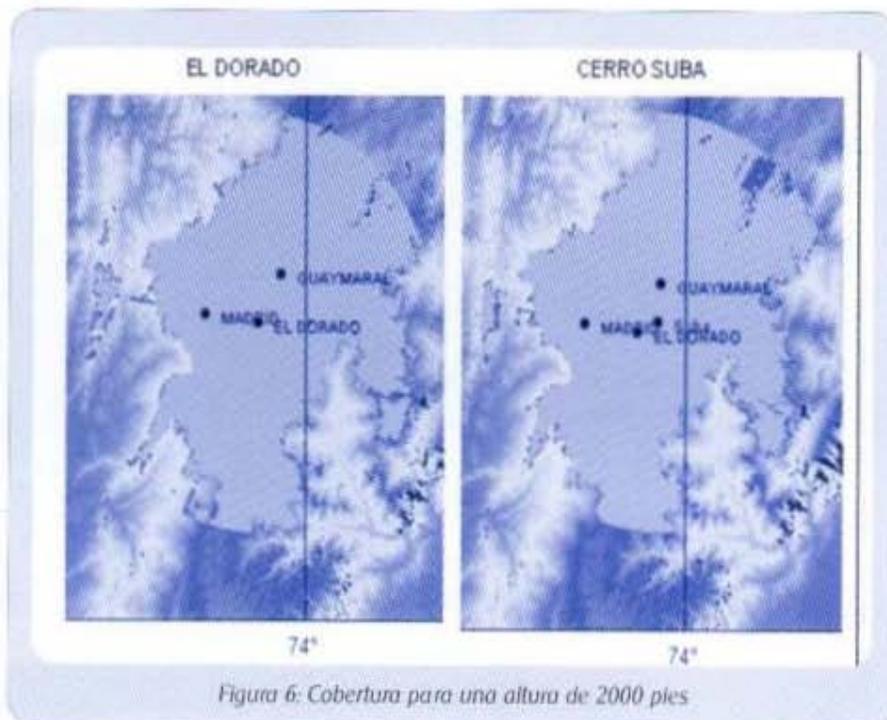
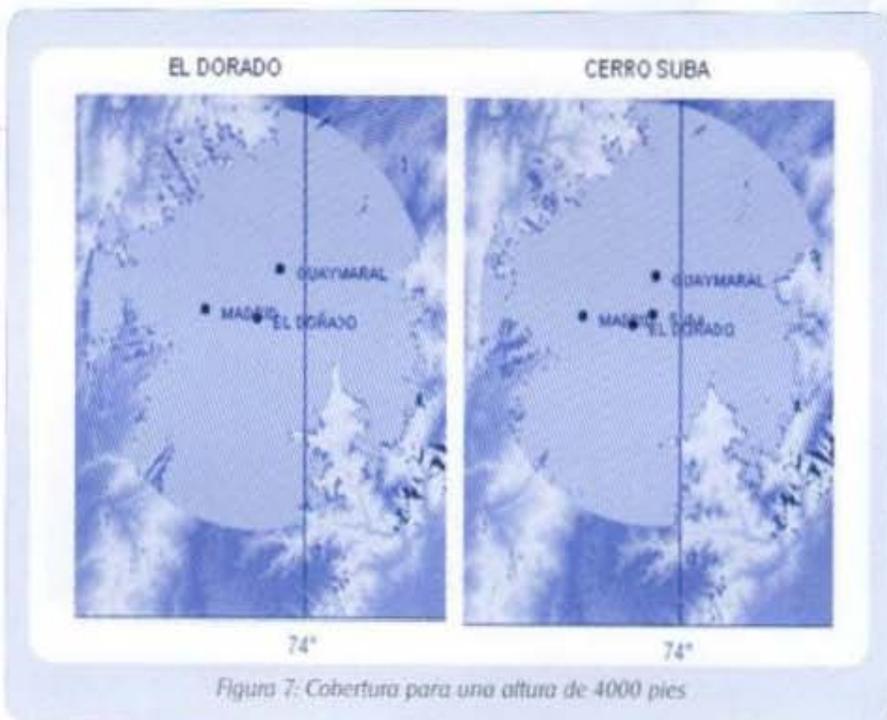


Figura 5. Cobertura para una altura de 500 pies

Para 200 pies de altura El cubrimiento de la señal mejora considerablemente en los alrededores del aeropuerto de Madrid y Guaymaral. En este punto podemos determinar que se puede efectuar aproximaciones de precisión Categoría 3. Para el aeropuerto el Dorado la cobertura es bastante buena pese a la altura a la que se encuentra la aeronave.



Vemos que continúa incrementando para ambos escenarios el área de cubrimiento cuya intensidad de la señal se recibe por encima de los  $75 \mu\text{v/m}$ .



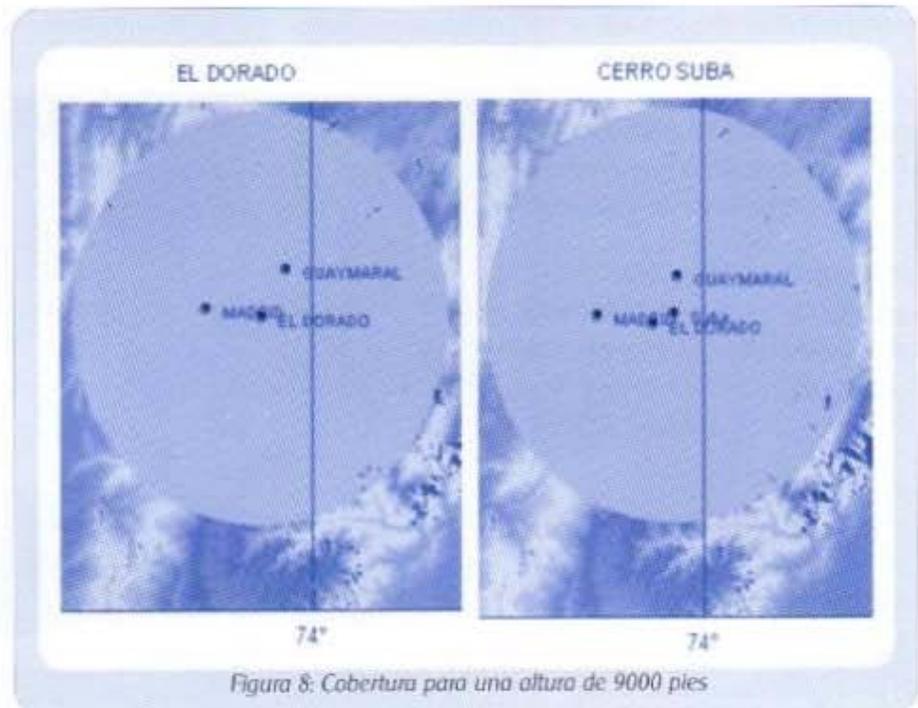


Figura 8: Cobertura para una altura de 9000 pies

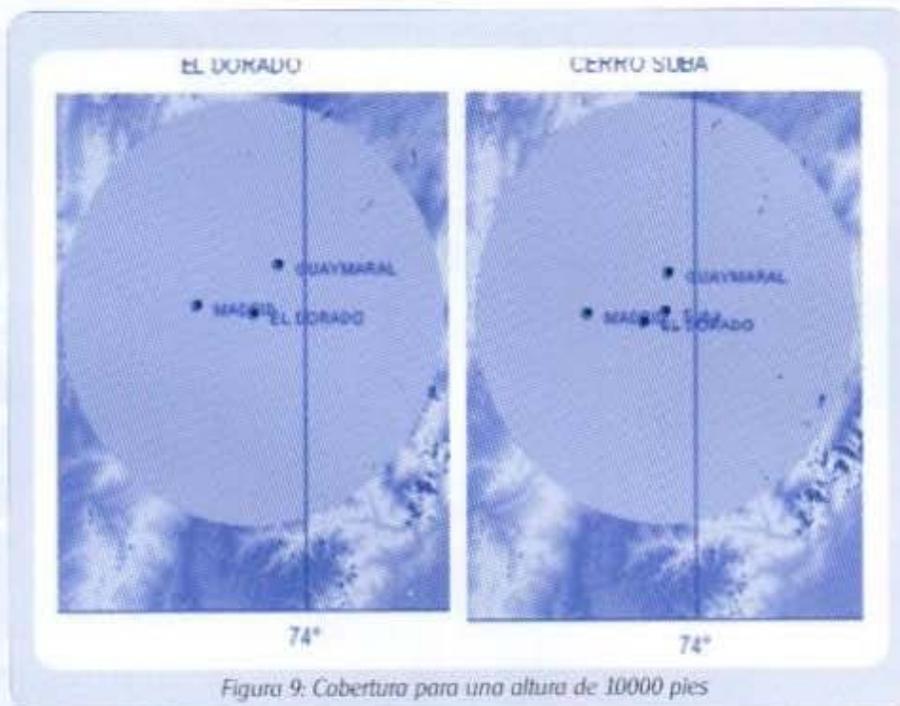


Figura 9: Cobertura para una altura de 10000 pies

Ya a partir de esta altura se logra cubrimiento total para cualquiera de los dos escenarios. Ambas tienen un comportamiento similar, por lo cual se considera que el sitio ideal para la instalación de la estación satelital GBAS es el Aeropuerto el Dorado, ya que es conveniente que la estación quede ubicada cerca de los aeropuertos y el Dorado es el que más tráfico maneja. Sin embargo, por razones de seguridad se recomienda que en el momento de la instalación del Sistema GBAS se debe verificar las frecuencias con que trabajan los sistemas de comunicaciones del aeropuerto el Dorado con el fin de evitar interferencias.

## LEVANTAMIENTO DE PERFILES

Teniendo en cuenta que elegimos el aeropuerto El Dorado como punto para la ubicación de la estación de referencia, continuaremos con el levantamiento de los perfiles en la zona de cubrimiento (30 MN) 55 Km. La idea es determinar a que altura las aeronaves tendrán línea de vista con la estación VHF que transmitirá los datos de corrección de posición y distancia. Cuando una aeronave se encuentra a una distancia de 30 MN de la pista de aterrizaje, ya sea de la pista de Madrid, Guaymaral o El Dorado, la altura mínima a la que se debe encontrar es de 14.000 pies, a esta distancia el avión aún se encuentra en ruta; esto depende básicamente de la topografía del terreno que está sobrevolando; este valor corresponde a la altura más alta dentro de dicho radio más 4.000 pies con el fin de garantizar que no existan choques con picos altos. En este sector el pico más alto es el cerro de Manjui cuya altura es de 3.123 m y sumándole los 4000 pies exigidos da un valor aproximado de 14.000 pies de altura.

Así mismo el descenso de las aeronaves se inicia cuando estas se encuentran a una distancia de aproximadamente 15 MN de la pista; así que decidimos tomar ocho (8) puntos de referencia en el umbral de las 30 MN con el fin de determinar si a una altura menor o igual a los 14.000 pies las aeronaves

ya cuentan con línea de vista óptica con la estación diferencial del sistema GBAS.

Lo que queremos demostrar es que una aeronave que se encuentra a una distancia de 30 MN de la pista de aterrizaje, con un sistema de navegación satelital GBAS es capaz de recibir los datos de aproximación final aunque se encuentre en ruta y aún cuando vaya disminuyendo su distancia con la pista continuará recibiendo estos datos hasta que inicie su aproximación final.

Así mismo efectuamos los siguientes cálculos con el fin de determinar: El ángulo con el que pueden iniciar el descenso las aeronaves, el radio de la elipse para el cálculo de la primera zona de Fresnel Figura 34, y el incremento de la altura por curvatura de la tierra para un factor  $k=4/3$ .

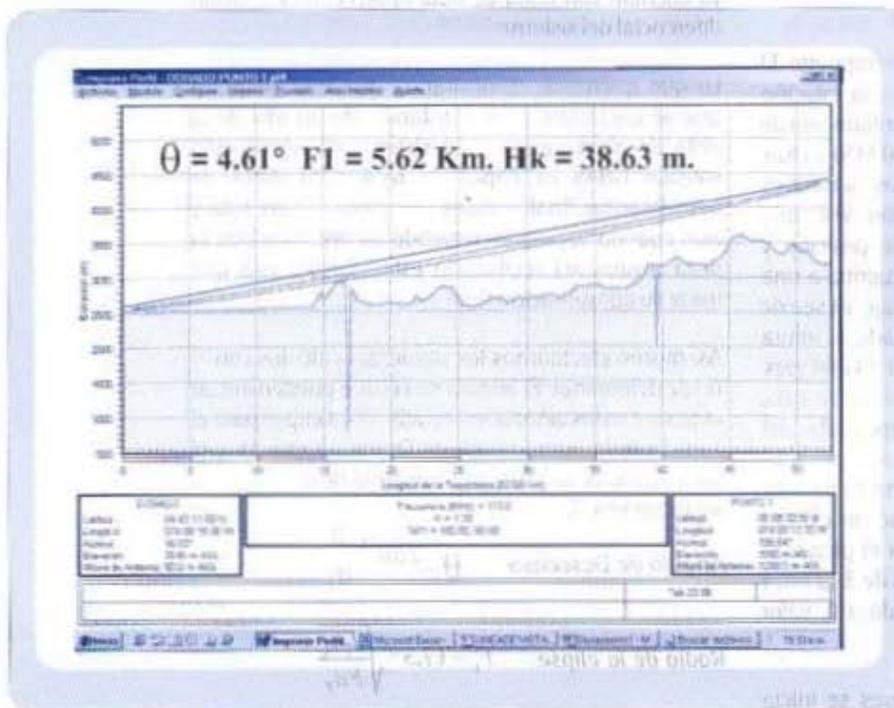
$$\text{Angulo de Descenso} \quad \theta = \text{Tan}^{-1} \frac{h}{d_r}$$

$$\text{Radio de la elipse} \quad F_1 = 17.3 * \sqrt{\frac{d_1 d_2}{F d_r}}$$

$$\text{Incremento de la altura por curvatura de la tierra} \quad H_c = \frac{d_1 d_2}{12.74 * (k)}$$

Los ocho puntos escogidos en el umbral de las 30 MN quedaron distribuidos de la siguiente forma:





Mostraremos solo los cuatro puntos más representativos.

Primer punto



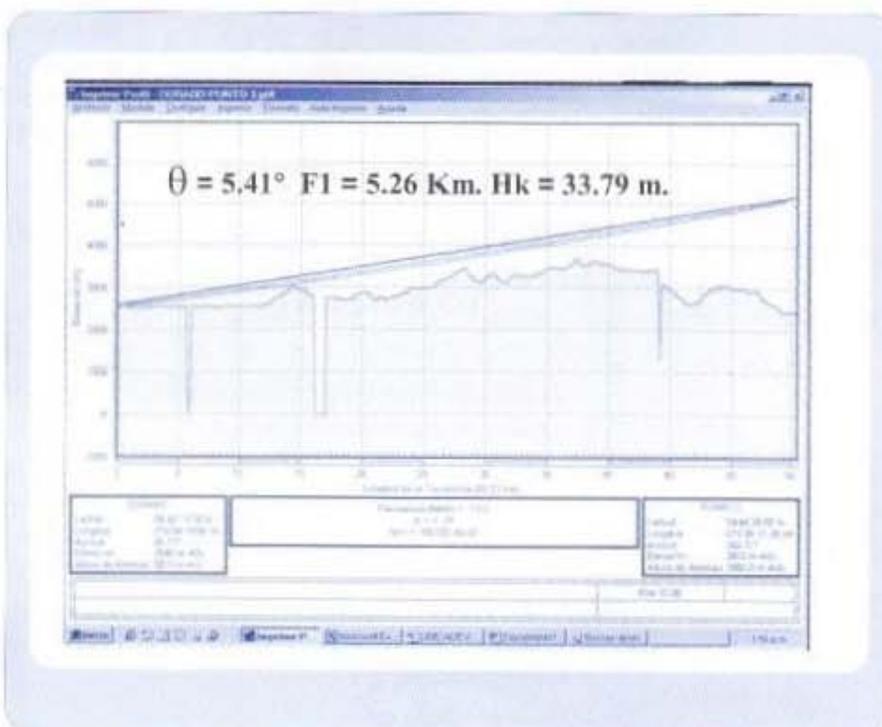
En este punto observamos que la primera zona de Fresnel se encuentra despejada en un 100%, para lo cual fue necesario que el avión estuviese a una altura de 1.250 m, la cual es inferior a 14.000 pies.

Segundo punto



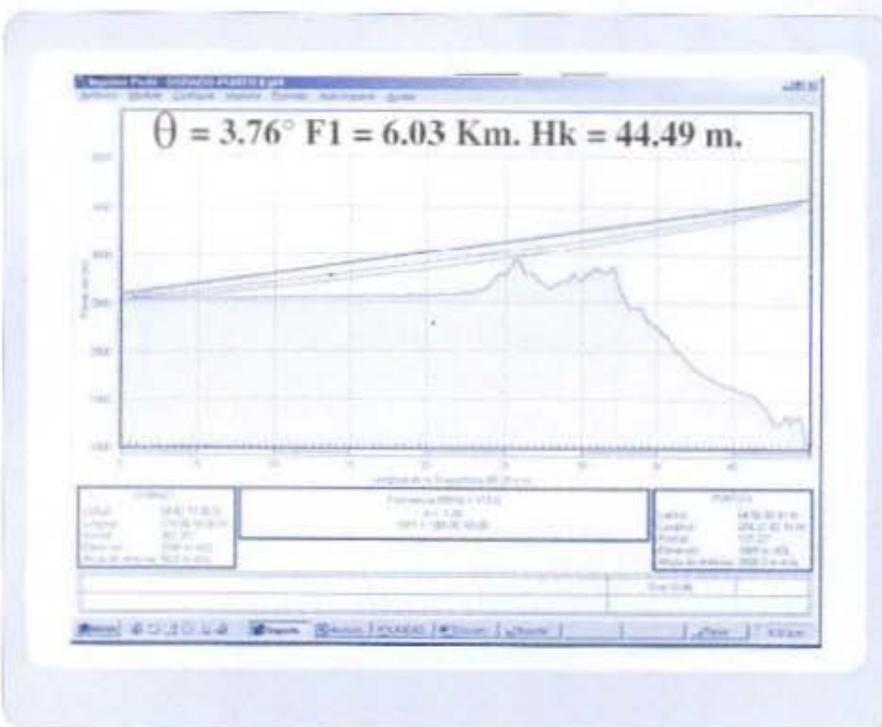
En este punto observamos que la primera zona de Fresnel se encuentra despejada en un 60%, para lo cual fue necesario que el avión estuviese a una altura de 1.000 m, la cual es inferior a 14.000 pies.

Tercer punto



En este punto observamos que la primera zona de Fresnel se encuentra despejada en un 100%, para lo cual fue necesario que el avión estuviese a una altura de 2.800 m, la cual es inferior a 14.000 pies.

Octavo punto



En este punto observamos que la primera zona de Fresnel se encuentra despejada en un 100%, para lo cual fue necesario que el avión estuviese a una altura de 2.550 m, la cual es inferior a 14.000 pies.

Para ninguno de los ocho (8) puntos escogidos fue necesario que la altura de la aeronave fuese superior a 14.000 pies lo que significa que aún cuando el avión se encuentre en ruta existe línea de vista con el transmisor GBAS.

#### EQUIPOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN SISTEMA GBAS

##### **4 Unidades Remotas de medida satelital** **US\$ 110.000**

Receptor DGPS 12/24/48 Canales  
 Receptor DGPS Empacados en Cubiertas para interperie debidamente sellados y aislados del medio.  
 Antena dual reductora de multitraectoria.

##### **1 Estación Diferencial de GPS** **US\$ 430.000**

Rack dual de 19  
 Panel de Gabinetes  
 Procesador de corrección diferencial  
 Software certificado bajo normas FFA D0-178B  
 Unidad de distribución de potencia  
 Transmisor / receptor dual de VHF  
 Computador(Terminal de Mantenimiento)

##### **1 Shelter** **US\$ 130.000**

Conectores  
 Cableado  
 Sistema de Tierra  
 Luces de Obstrucción  
 Aire acondicionado  
 Protectores de línea  
 Sensores de humo  
 Sensores de Temperatura  
 Detectores de Intrusos

<b>1 ATCU</b>	<b>US\$ 70.000</b>
Control panel para el sistema de aterrizaje satelital, debe instalarse en la torre de control Pantalla Plana de contacto	
<b>1 Antena de omnidireccional en VHF</b>	<b>US\$ 80.000</b>
Antena con polarización elíptica Antena dual Transmisor secundario de reserva VHF	
<b>1 Instalación puesta en funcionamiento</b>	<b>US\$ 120.000</b>
<b>1 Aeronave</b>	<b>US\$ 80.000</b>
Antena VHF Antena para banda L Equipo Receptor de GPS	
<b>TOTAL</b>	<b>US\$ 1.020.000</b>

### 3. RECOMENDACIONES

Realizar una investigación detallada sobre las frecuencias que ya se encuentran asignadas en el intervalo de 108 Mhz a 117975 de tal forma que no incidan en la propagación de este, porque de lo contrario no se reflejaría la mejoría con dicha implementación, debido a las interferencias que se pue-

den presentar a causa de no especificar una frecuencia adecuada.

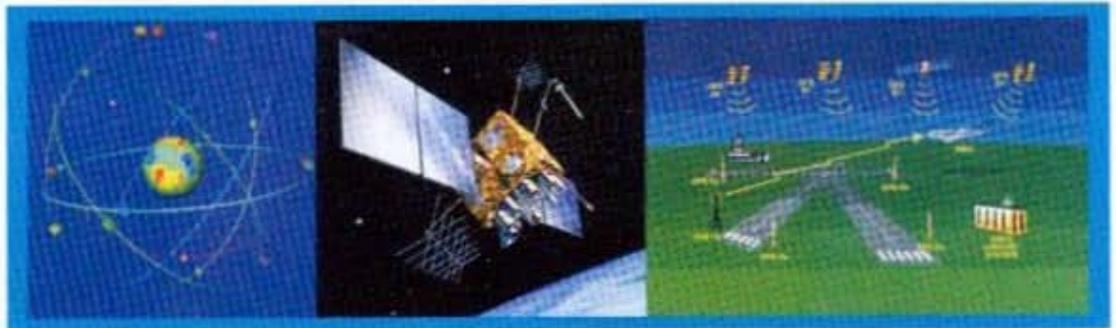
Realizar un estudio de campo para la ubicación de la estación de referencia donde se tengan en cuenta varios aspectos como la ubicación de las antenas, de tal forma que no se presenten multitrayectorias.

### 4. CONCLUSIONES

El resultado del estudio anterior determinó que técnicamente es viable la implantación de una estación satelital GBAS, ya que la señal no tiene ningún problema de recepción por parte del avión que se encuentra en ruta y en el tramo de aproximación final. La ubicación de dicha estación sería dentro del aeropuerto el Dorado, ya que es el que más tráfico maneja. De igual forma en el estudio de campo realizado encon-

tramos que ya existe un canal de comunicación entre las torres de control de los aeropuertos El Dorado, Guaymaral y Madrid en caso de llegarse a necesitar alguna coordinación entre El Dorado y los otros dos aeropuertos.

En aras de mejorar la seguridad aérea, la implementación de un sistema como este proporciona una gran confiabilidad en el servicio de



aterri-zaje, y permite al GPS cumplir con los parámetros establecidos por la OACI para los sistemas de navegación aérea.

- ④ Con la implementación de una sola estación satelital GBAS se da cubrimiento a las ocho cabeceras que conforman los aeropuertos del Dorado, Guaymaral y Madrid. Actualmente no hay cubrimiento para todas las cabeceras ya que utilizan sistemas ILS (sistemas de aterri-zaje por instrumentos) los cuales dan cobertura únicamente a una cabecera por cada estación instalada lo cual sería muy costoso para la nación.
- ④ Se concluye que se debe utilizar el GBAS con polarización elíptica (GBAS/E) ya que la mayoría de las aeronaves están equipadas con una antena receptora VDB de polarización horizontal, la cual les permite recibir tanto la señal VDB del equipo GBAS/H y del equipo GBAS/E. Lo anterior debido a que se encuentra un sub-conjunto de aeronaves, equipado con antenas de polarización vertical que no son compatibles con el equipo GBAS/H; por lo anterior y con el fin de brindarle señal a todas las aeronaves se debe utilizar el equipo GBAS/E.

Con la implementación del sistema de navegación satelital en nuestro país se puede

lograr una mejor organización del espacio aéreo, y se pueden corregir todas las limitantes que se presentan con los sistemas tradicionales de navegación como son espacios aéreos desatendidos, congestión de aerovías, limitantes en la determinación de nuevas rutas y altos costos de instalación y mantenimiento.

Este sistema es el más apropiado como método de aterri-zaje para esta región de las 30NM ya que permite realizar aproximaciones de precisión curvas, aproximaciones que el sistema actual (ILS) no lo proporciona. Con estas aproximaciones curvas los aviones tendrán nuevas rutas de aterri-zaje y de allí que las pistas de los aeropuertos pueden ser utilizadas al tiempo sin ningún problema. Se podrán tener mayor eficiencia y estadísticas precisas de los aterri-zajes en cada pista; y se descongestionaran de cada una de ellas. Este estudio puede ser de gran utilidad a la Aeronáutica Civil Colombiana, ya que contará con un estudio que les permitirá decidir la viabilidad del proyecto y con una sola estación darle cobertura a todas las cabeceras de pista de los tres aeropuertos.

#### REFERENCIAS

- [1] [www.mundogps.com](http://www.mundogps.com)
- [2] [www.mundogps.com](http://www.mundogps.com)