

# APROVECHAMIENTO DE TÉCNICAS DE POSICIONAMIENTO GPS PARA APROXIMACIÓN AL AEROPUERTO JORGE E. GONZÁLEZ

Ingeniero

**Miguel Antonio Ávila**<sup>1</sup>  
maavila@udistrital.edu.co

**Lady Viviana Gómez Forero**<sup>2</sup>  
viviana0810@gmail.com

Recibido: 30 de Febrero 2012

Aprobado: 15 de Marzo 2012

## Resumen

Con el objetivo de optimizar los niveles de seguridad operacional y de regularidad en el tránsito aéreo colombiano, se desarrolló una guía con el ánimo de incrementar la eficiencia de la gestión del tránsito en el espacio aéreo del aeropuerto Jorge E. González T. localizado en el municipio de San José del Guaviare.

**Palabras claves:** Aeronavegación asistida, aproximación, ATS, GPS, Radio ayuda, Rwy, Vor.

## Abstract

With the purpose to improve the operational safety and regularity levels in the Colombian air traffic, a guide was developed with the objective to increase the efficiency of traffic management on the airspace of the airport Jorge E. González T. located in the municipality of San José del Guaviare.

**Keywords:** Airports assisted, approach, Ats, GPS, Radio help, Rwy, Vor.

## 1. Introducción

Con el desarrollo de los sistemas de posicionamiento satelital la navegación aérea se ha beneficiado considerablemente, en general los procedimientos de aproximación, despegue y en ruta para las aeronaves, los cuales son de vital importancia para el libre desarrollo del transporte aéreo en conjunto con la evolución de otras técnicas de aviación que utilizadas de forma integral, reducen costos de operación y mejoran la seguridad aérea.

Actualmente, los vuelos que se realizan en Colombia son basados en los sistemas de navegación por radio instalados en tierra (radio ayudas tipo: VOR-DME, ILS, NDB, TACAN), lo cual produce limitaciones al transporte aéreo, dado que una aeronave debe volar de una radio ayuda a otra, teniendo que efectuar recorridos más largos en vuelo, y la mayoría de las veces, es-


tas ayudas no están situadas de tal forma que le permita a una aeronave enfrentarse a la pista en la fase final de aproximación a un aeropuerto, y esta debe efectuar maniobras incómodas para encontrar la pista y lograr aterrizar; además, limitan las operaciones de un aeropuerto para una sola pista, ya que el procedimiento de aproximación está sujeto a la ubicación de la radio ayuda.

Otro inconveniente con respecto a las radio ayudas, es que deben tener un mantenimiento pertinente (revisiones y suministro de combustible para una constante operación) y deben ser vigiladas para evitar sabotajes y terrorismo que las dejen fuera de operación<sup>3</sup>. Con la creación de un procedimiento de vuelo por guía satelital (GPS), las aeronaves pueden volar de un aeropuerto directo a otro sin estar restringidas a seguir una ruta trazada por radio ayudas situadas en tierra, lo cual ahorra tiempo en vuelo; una vez esté cerca al aeropuerto

<sup>1</sup>Ingeniero catastral. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia.

<sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería Topografía de la Universidad Distrital Francisco José Caldas, Bogotá D.C., Colombia

<sup>3</sup>Afirmaciones basadas en la experiencia del personal idóneo de la Fuerza Aérea Colombiana y de la Aerocivil.



de destino, el procedimiento elaborado bajo parámetros GPS le permitirá a la aeronave enfrentarse a la pista desde una distancia suficiente y de esta manera garantizar un vuelo mucho más seguro.

Así mismo, el Estado colombiano se ahorraría gastos y costos de sostenimiento de las radio ayudas que actualmente están instaladas en parte del territorio, de igual forma se puede elaborar el procedimiento de vuelo para cada cabecera, logrando optimizar el uso del espacio aéreo que rodea cada aeropuerto, en este caso se busca desarrollar un procedimiento como el mencionado para el aeropuerto Jorge E. González T. en San José del Guaviare

## 2. Planteamiento del problema

La Aviación Civil en Colombia, no ha cumplido a cabalidad con el propósito de obtener una cobertura nacional aeroportuaria basada en los estándares internacionales de servicio de tránsito aéreo (ATS)<sup>4</sup>. Es por ello, que para el caso particular del aeropuerto Jorge E. González T, del municipio de San José del Guaviare es recomendable implementar la aeronavegación asistida por GPS, debido a que los métodos utilizados en los procedimientos de aproximación a la pista están basados en aeronavegación visual o por instrumento, la cual se puede complementar con un procedimiento de aproximación GPS.

La efectividad y seguridad de este último procedimiento depende de la habilidad visual del piloto, así como de las condiciones climáticas de la zona; ya que en casos de nubosidad, lluvia y otros agentes atmosféricos, es imposible para el piloto enfrentar una pista solo con herramientas análogas, y le sería más fácil si tuviera una carta de aproximación por instrumentos GPS, correspondiente a las fases de aterrizaje.

Así mismo, es insuficiente depender de las radio ayudas presentes en la zona, ya que el sistema radioeléctrico VOR presenta un alcance limitado a la línea visual, sin poder evitar accidentes geográficos, por lo cual la distancia a la que se puede utilizar dicho sistema depende de la altura de vuelo y de la clase de estación que recibe

la señal; otro inconveniente de la recepción es que su estructura tiene encima un cono de silencio (donde no hay señal). Por otro lado, el sistema ILS no permite efectuar aterrizajes con la sola ayuda de instrumentos sino que constituye un medio para efectuar aproximaciones con un techo y visibilidad menores que las Standard.

Como consecuencia de la situación descrita anteriormente, el sistema de navegación asistido por radio ayudas tipo VOR-DME e ILS, utilizado en los procedimientos de aproximación a la pista del aeropuerto Jorge E. González T, son deficientes a la hora de proporcionar un aterrizaje seguro y eficaz, retardando los procesos de aterrizaje dada las maniobras que deben ejecutar los pilotos para el alineamiento y descenso con respecto a la pista de aterrizaje.

## 3. Aproximación GPS al Aeropuerto Jorge E. González T.

Para el desarrollo de este procedimiento se ha escogido el criterio de Diseño TAA establecido por el Departamento de Transporte de la Administración de Aviación Federal (FAA) de los Estados Unidos, el cual consiste en una configuración en forma de “T” publicada en el ORDER 8260.45<sup>a</sup> del TSI (Transportation Safety Institute).

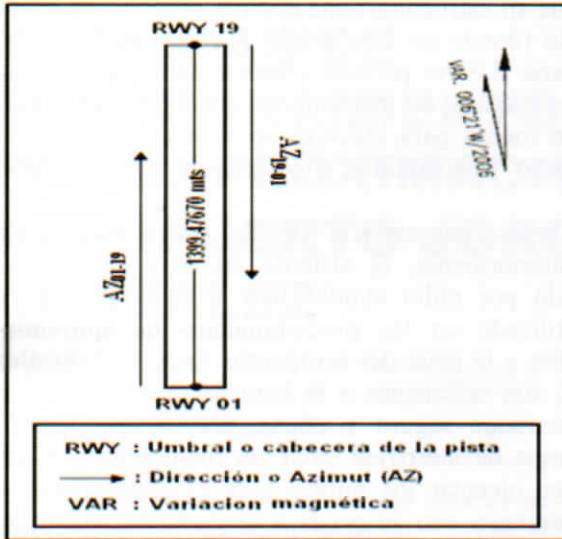
### 3.1 Orientación de la pista

Como resultado del levantamiento geodésico realizado a cada una de las cabeceras de la pista, se obtuvo las coordenadas geográficas WGS-84 de las mismas, las cuales se encuentran publicadas en el Manual de Normas, Rutas y Procedimientos ATS; a partir de ellas, se calculó la longitud de la pista y el respectivo azimut (rumbo geográfico o verdadero) y contra-azimut para cada cabecera (umbral).

Igualmente, se encuentra publicada en el manual, la variación magnética a partir de la cual se calcula los rumbos magnéticos para cada umbral, y de esta forma se determina la dirección magnética u orientación de la pista para reconocerla a partir de la nomenclatura RWY de cada cabecera. A continuación se encuentra una grá-

<sup>4</sup>ATS (Servicio de Tránsito Aéreo), expresión genérica que se aplica, según el caso, a los servicios de información de vuelo, alerta, asesoramiento de tránsito aéreo, control de tránsito aéreo (servicios de control de área, control de aproximación o control de aeródromo).

fica que ambienta lo mencionado anteriormente.



**Figura 1.** Pista de aterrizaje con las respectivas cabeceras

### 3.2 Construcción del procedimiento de aproximación para cada cabecera

Al igual que otros procedimientos por instrumentos, el de aproximación por GPS (Global Position System) es la definición de una ruta que permita a la aeronave alinearse a la pista del aeropuerto y descender paulatinamente hasta lograr aterrizar. Para ello, debe trazarse una trayectoria que determine los tramos operacionales que definen todo procedimiento de vuelo, es decir, Fase Inicial, Intermedia, Final y de Aproximación Frustrada; las cuales pueden ser materializadas mediante diferentes diseños, esquemas o formas, dependiendo de las características de la pista, de la aeronave, de la topografía del terreno, y del criterio del diseñador del procedimiento.

Con el propósito de establecer las diferentes fases de aproximación, es necesario calcular una serie de "puntos de referencia" georeferenciados denominados WayPoints (WPs) los cuales delimitarán cada uno de los tramos o segmentos que conforman la configuración 'T' (inicial, intermedio, final y de aproximación frustrada), tomando como punto de partida las coordenadas geográficas de cada

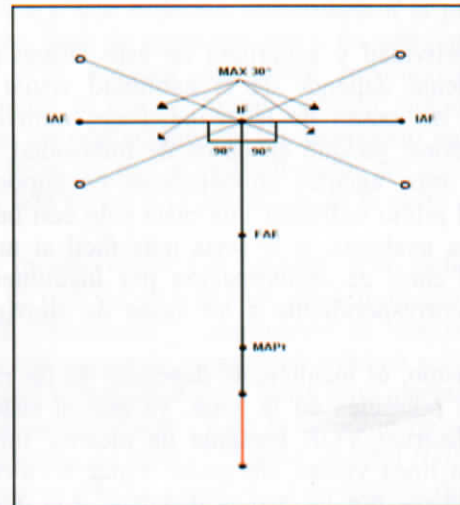
una de las cabeceras de la pista.

#### 3.2.1 Puntos de referencia

Los puntos de referencia del área Terminal son determinados en función de los sistemas de navegación, que para este caso se empleará el GPS. Dichos puntos de referencia, como su nombre lo indica, se encargan de señalar el comienzo de cada tramo de aproximación.

- IAF: Punto de referencia de aproximación inicial.
- IF: Punto de referencia de aproximación intermedia.
- FAF: Punto de referencia de aproximación final.
- MAPt: Punto de referencia en el cual, o antes del cual se ha de iniciar la aproximación frustrada prescrita.
- MAHWP: Punto de recorrido de espera de aproximación frustrada.

A diferencia del procedimiento de aproximación por instrumentos, la serie de maniobras determinadas, se realizan referenciadas bajo información satelital que presta el servicio de navegación GPS.



**Figura 2.** Esquema de aproximación del diseño T

### 3.3 Área primaria, área secundaria, y áreas de franqueamiento de obstáculos

Un procedimiento de aproximación debe tener un esquema lógico que permita un óptimo desempeño al momento del descenso de una aeronave hasta la pista de aterrizaje; pero esto debe ser desarrollado bajo el ideal de seguridad para la aeronave, frente a los posibles obstáculos presentes en ciertas zonas de interés, en las cuales exista un riesgo potencial. Esta zona debe enmarcar cada una de las fases del procedimiento con parámetros y medidas establecidas, según sea el caso del diseño.

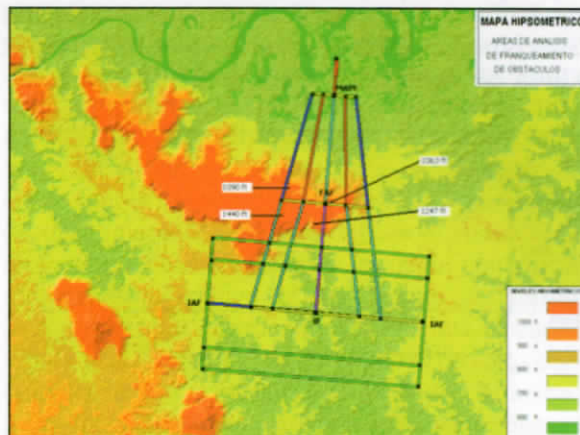
En todos los casos para procedimientos de aproximación, se estiman áreas de protección, que permiten analizar los posibles obstáculos que puede tener la aeronave, denominadas áreas de franqueamiento de obstáculos, y estas a su vez, se dividen en áreas primarias y áreas secundarias, las cuales se definirán para cada una de las fases de aproximación (por medio de distancia, azimut y puntos georeferenciados).

### 3.4 Análisis de obstáculos

El análisis para el franqueamiento de obstáculos es de vital importancia para un procedimiento de aproximación, ya que permite establecer las condiciones más seguras para que la aeronave tenga una aproximación exitosa, es decir, que podrá indicar al piloto cuál debe ser la altitud más apropiada y libre de peligro de obstáculos a la cual debe sobrevolar cada una de las fases de aproximación antes de disponerse a aterrizar.

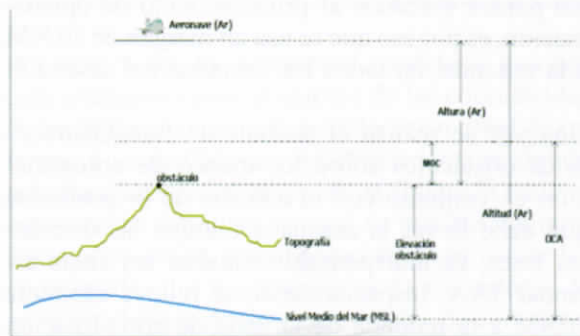
Se analizarán los objetos cuya elevación sea la más sobresaliente en las diferentes regiones, primaria y secundaria. Para ello se identificará, además del obstáculo más relevante (el de mayor elevación dentro del área de navegación), el MOC (Minimum Obstacle Clear-Margen Mínimo de Franqueamiento de Obstáculos) éste es el margen mínimo de altura a la que deberá sobrevolar la aeronave durante las diferentes fases de aproximación.

Para ello es necesario analizar el mapa hipsométrico de la zona (figura 3) obtenido por medio del software FalconView versión 3.3.0, con el ánimo de identificar las regiones topográficas más altas, las cuales representan un obstáculo para la aeronave en el momento de la aproximación.



**Figura 3.** Vista panorámica de la hipsometría del terreno para las diferentes fases de aproximación de THR-RWY 01.

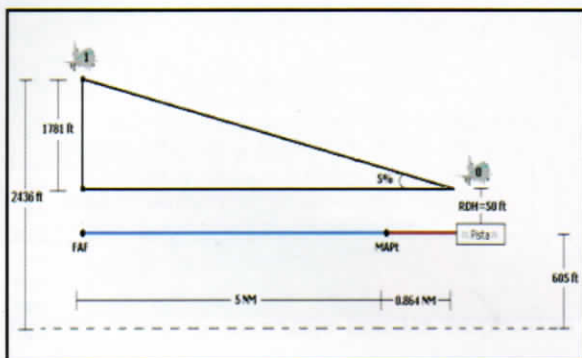
De igual manera, es preciso calcular el valor del OCA, altitud más baja a la cual el piloto puede descender cuando está volando en un procedimiento, es decir, la aeronave no puede descender por debajo de dicho valor si no tiene la pista a la vista.



**Figura 4.** Ilustración de los conceptos de elevación, MOC, altura, altitud, necesarios para la definición del OCA.

### 3.5 Análisis de pendiente de la aeronave

La aeronave a medida que atraviesa las diferentes fases de aproximación, deberá hacerlo con una pendiente de descenso indicada, lo cual le asegurará un vuelo seguro frente al margen mínimo de obstáculos y un descenso exitoso para pasar de una fase a otra como para alcanzar la altitud base (RDH-Altura de Referencia) antes de abordar la pista.



**Figura 5.** Relación geométrica entre la pendiente de descenso.

### 3.6 Áreas estándar

Estas áreas también son utilizadas como áreas de prevención y análisis para el franqueamiento de obstáculos, con el ánimo de abarcar todas las posibles rutas de llegada del avión por cualquiera de los puntos cercanos al procedimiento de aproximación, es por eso que se usa un margen de 30 NM a la redonda, en todos los costados del diseño T.

Una vez se realiza el análisis de franqueamiento de obstáculos sobre los tramos de aproximación en conjunto con el análisis de la pendiente que debe llevar la aeronave durante las diferentes fases, es indispensable estudiar las áreas estándar TAA, inspeccionando el relieve existente 30NM a la redonda de la zona de aproximación con el fin de evitar que algún objeto topográfico atente contra la seguridad de la aeronave.

### 3.7 Construcción del circuito de espera (Holding Pattern) para cada una de las cabeceras

El objetivo principal de una espera es regular al flujo de tráfico en áreas congestionadas. En realidad, el ATC gestionará las esperas y solo las utilizará si su uso es inevitable; para regular grandes flujos de tráfico, el ATC normalmente utilizará expresiones tales como “directo a...” o utilizará vectores radar. Conforme a lo establecido en el documento de la FAA (Order 7130.3A), es posible diseñar el área base de un Circuito de Espera para un procedimiento GPS. La estructura de este diseño depende de los siguientes parámetros: Velocidad máxima de la aeronave al momento de aproximar: con respecto a la altitud mínima del Sector (MSA), específicamente el valor de altitud del Sector en el cual se encuentre inmerso el punto fijo (MAHWP) del circuito de espera, que para este caso en particular corresponde a un IAF. En éste procedimiento existe solo un sector dada la homogeneidad del terreno, el valor de dicho sector se asume como los 3200 ft del OCA para las Áreas Estándar.


### 3.8 Construcción de las zonas de protección del circuito de espera

Al igual que los tramos inicial, intermedio y final, es necesario establecer una zona de franqueamiento de obstáculos para el circuito de espera que permita la seguridad de las maniobras que dicho tramo requiera. Estas maniobras dependen del tipo de aproximación frustrada, directa o con viraje, descrita en el procedimiento; por lo tanto, existen parámetros diferentes que determinan el diseño de dichas zonas, tanto para una aproximación directa o una con viraje.

## 4. Conclusiones

### - Sobre la situación aeronáutica colombiana en general

Los procedimientos de aeronavegación se pueden encontrar hoy en día en los publicados de los manuales de rutas y procedimientos ATS,



para el uso de los instrumentos convencionales, representa el sentido eficiente con el cual se han abarcado cada uno de los temas que envuelven la navegación aérea en el país. Sin embargo, el sentido que debería predominar es el de eficacia, lo que permite evaluar la manera cómo estos procedimientos se desarrollan actualmente conforme a las necesidades requeridas en vuelo, dada las condiciones en las que se desenvuelve el tránsito aéreo nacional e internacional y la demanda que éste genera frente a las áreas de telemática, informática, electrónica y geodesia, conceptos que día a día están a la vanguardia de la era postmoderna, lo cual lleva a pensar que los procedimientos existentes se diseñaron con el propósito de cubrir una necesidad puntual e inmediata.

Ahora bien, es necesario estudiar, establecer y acoger nuevos criterios en el diseño de procedimientos, que se encuentren a la par con las nuevas herramientas utilizadas para la navegación aérea, que de igual forma, permitan cumplir a cabalidad con los criterios de seguridad operacional; además, deben considerar el cumplimiento de dicho requisito como un resultado armónico entre la eficiencia y la recursividad, evitando de esta manera, limitar al piloto a tener como único recurso a bordo, su experiencia en el vuelo instrumental convencional.

Haciendo caso a estas afirmaciones, sería conveniente utilizar la tecnología GPS como medio único de navegación en respuesta a estas carencias presentes en la navegación convencional. Con la creación de un procedimiento de vuelo por guía Satelital GPS, las aeronaves pueden volar de un aeropuerto directo a otro sin estar restringidas a seguir una ruta trazada por radio ayudas, lo cual ahorra tiempo en vuelo; una vez esté cerca al aeropuerto de destino, el procedimiento elaborado bajo parámetros GPS le permitirá a la aeronave enfrentarse a la pista desde una distancia suficiente, y de esta manera garantizar un vuelo mucho más seguro. Así mismo, el Estado colombiano se ahorraría gastos y costos en el sostenimiento de las radio ayudas que actualmente están instaladas en parte del territorio, de igual forma se puede elaborar el procedimiento de vuelo para cada cabecera, logrando optimizar el uso del espacio aéreo que rodea cada aeropuerto.

## **-Sobre el desarrollo técnico del proyecto**

En el desarrollo óptimo del ejercicio de la construcción de los procedimientos para cada una de las cabeceras, es fundamental el cálculo de las coordenadas de los WP's a utilizar. Siguiendo la metodología de la Aerocivil se puede observar que el procedimiento a seguir era calcular coordenadas geográficas de otros puntos con base a las coordenadas geográficas de la pista, obtenidas directamente de un levantamiento GPS realizado en la zona. La base del procedimiento son las coordenadas geográficas obtenidas por GPS de la pista. El GPS calcula la posición de un punto por medio de triangulación, Geotools utiliza el método directo de geodesia geométrica, es decir, contiene el logaritmo de Puissant, el cual realiza una aproximación de unas coordenadas sobre una circunferencia a un elipsoide, tomando como datos conocidos la latitud y longitud de un punto, el azimut y distancia del punto conocido al punto a conocer.

Al parecer es el caso ideal para calcular los WP's del procedimiento; sin embargo, el método de Puissant considera una serie de condiciones que determina la efectividad del mismo, a pesar de que se cumple el hecho de que las distancias a utilizar sean menores a 100 km, estas distancias se asumen como distancias geodésicas sobre el elipsoide, suposición que lleva a reflexionar sobre la coherencia de utilizar Puissant en un procedimiento que involucre desde el principio hasta el fin, desde el punto de partida hasta el resultado y ejecución, la localización georeferenciada a través de la tecnología GPS.

Por esta razón, es interesante considerar una opción alternativa para el cálculo de las coordenadas de los WP's que permita establecer un nivel de referencia compatible con el GPS sin someter ningún método a suposiciones que en la situación real, no hay certeza definitiva de que se puedan cumplir. Estas alternativas consistieron en transformar las coordenadas del levantamiento de un sistema de coordenadas geográfico a un sistema de coordenadas proyectado, y a partir de este sistema calcular las nuevas coordenadas mediante una triangulación trigonométrica en un sistema coordenado plano, para transformarlas nuevamente a su sistema de coordenadas geográficas asociado de origen.

Para establecer un sistema de coordenadas proyectadas, es necesario entender con qué tipo de coordenadas se cuenta, conocer el Dátum con el cual se obtuvieron, para así entender cómo transformarlas según las necesidades y características del proyecto. El GPS trabaja con el elipsoide Internacional WGS84, por lo cual las coordenadas de partida corresponden a un sistema de coordenadas geográfico referido al Dátum MAGNA-SIRGAS; de esta manera se transforman dichas coordenadas a los sistemas de coordenadas proyectadas utilizadas en Colombia (Cartesianas, Gauss-Krüger y Geocéntricas), motivo por el cual fue necesario contemplar criterios tales como la escala a la cual se trabaja el proyecto.

Teniendo en cuenta este criterio de selección, el sistema de proyección más conveniente es el sistema de Coordenadas Planas Cartesianas ya que la cartografía utilizada para los diseños del procedimiento son escalas pequeñas (1:100.000,500.000). No es necesario transformar el Dátum, sino establecer un origen cartesiano coherente con la ubicación de la zona de trabajo; teniendo todas las coordenadas del procedimiento en un sistema de coordenadas planas (Norte y Este) es posible realizar la triangulación trigonométrica para calcular el resto de WPs y vértices del diseño para luego transformar el resultado obtenido nuevamente a coordenadas geográficas. Establecido los dos métodos a seguir, es posible encontrar algunas diferencias conceptuales, estas se cuantifican con la información resultante obtenida con cada uno de ellos. De acuerdo con esto, se encuentra que en la latitud existe una diferencia promedio de 0.002 segundos y en la longitud 0.015 segundos de diferencia en promedio, que equivale a decir que hay una diferencia de 6 y 45 centímetros promedio en latitud y longitud respectivamente, hecho que resulta irrelevante tratándose de la ubicación de una aeronave en vuelo.

Este resultado demuestra que tales cifras de contraste no representan un margen significativo de error como para descartar cualquiera de los dos métodos por dichas razones, pero bajo un juicio conceptual, es recomendable realizar este procedimiento manejando la transformación de coordenadas geográficas y planas, y no por el método de

Puissant; por tal razón, este proyecto en particular, se desarrolla bajo la estructura recomendada.

## Bibliografía

Bao, James. Yen Tsui. (2006). *Fundamentals of global positioning system receivers*, Ed. Wiley Interscience. 2ª Edición. 2005.pp. 20-60

D.A.A.C Departamento Administrativo de Aeronáutica Civil (2008). *Manual de normas rutas y procedimientos ATS* república de Colombia. Ed. LEGIS, Bogotá D.C. Colombia.pp. 45-67

FAA Federal Aviation Administration.(2007). *Order 7130.3 taa (terminal arrival area) design criteria*, por la unidad administrativa especial de los estados unidos. pp. 13-66

FAA .Federal AviationAdministration. (2007). *ORDER 8260.38 taa (terminal arrival area) design criteria*, por la unidad administrativa especial de los Estados Unidos.pp. 37-70

FAA Federal AviationAdministration. (2007). *ORDER 8260.44 TAA (Terminal Arrival Area) Design Criteria*, por la Unidad Administrativa Especial de los Estados Unidos. pp. 15-60

FAA Federal AviationAdministration. (2007). *order 8260.45 TAA (Terminal Arrival Area) Design Criteria*, por la Unidad Administrativa Especial de los Estados Unidos. pp. 20-60

FAA Federal AviationAdministration. (2007) *ORDER 8260.48 TAA (Terminal Arrival Area) Design Criteria*, por la Unidad Administrativa Especial de los Estados Unidos.pp. 35-70

Roddy, Dennis.(2006). *Satellite communications*. McGraw Hill.3ª Edición, 2001. pp. 35-47

Teunissen, A. (2008). *Gps for geodesy*. Springer.2ª Edición. pp. 55-67

Tadeusz, A. Wysocki.BahramHonar. Beata J. Wysocki.(2005).*Signal processing for telecommunications and multimedia*. Springer.2005.pp. 67-73