

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA CON PROPÓSITOS  
AERONÁUTICOS PARA COLOMBIA

LINA CONSTANZA DELGADO OCAMPO  
PAULA TATIANA MIRANDA ARANGO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
MANIZALES  
2006

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA CON PROPÓSITOS  
AERONÁUTICOS PARA COLOMBIA

LINA CONSTANZA DELGADO OCAMPO  
PAULA TATIANA MIRANDA ARANGO

Informe final para optar por el título en  
Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones

Director  
Héctor Mora Páez  
Ingeniero Catastral y Geodesta

UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
MANIZALES  
2006

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

---

Firma del jurado 3

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS. Por guiarnos y acompañarnos en el camino de la vida.

A Héctor Mora. Por su apoyo incondicional y gran aporte de conocimientos.

A los asesores y demás personas que nos brindaron importantes ideas.

A Carlos Aurelio Luna, Ingeniero de Sistemas. Por su inmediato e incondicional apoyo en su conocimiento, tiempo y asesoría para llevar a cabo este proceso.

A Andrés Felipe Molina, Ingeniero. Por su valoración y apoyo incondicional en asesoría, tiempo y aporte de conocimiento.

## **DEDICATORIA**

*A mi padre Zehir Delgado Valencia por su entereza,  
confianza y apoyo incondicional que me aportó  
para cumplir este sueño que hoy forma  
parte de mi vida.*

*A mi madre Olga Clemencia Ocampo Giraldo  
por su dedicación, valoración  
y amor que me acompañaron siempre  
en este proceso para llevarlo a cabo.*

*Por ser mis dos guías incondicionales,  
les doy gracias y que Dios los bendiga siempre.*

*Los amo con todo mi corazón.*

**Lina Constanza.**

*A mi padre Silvio Arango Cárdenas por creer en mí,  
por su sabiduría y apoyo incondicional.*

*A mi madre Mirian Arango Ocampo por  
inculcarme la importancia de la búsqueda  
del conocimiento superior.*

*A mi tía Luz Mary en especial y a toda mi  
familia por su apoyo y comprensión.*

*A ellos y a los que de una u otra forma  
me acompañaron y me dieron fuerzas  
gracias con todo mi corazón;  
que Dios los bendiga siempre.*

*Los amo.*

**Paula Tatiana.**

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
INTRODUCCIÓN	21
JUSTIFICACIÓN	23
1. AREA PROBLEMÁTICA	25
2. OBJETIVOS	27
2.1 OBJETIVO GENERAL	27
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3. MÁRCO TEÓRICO	28
3.1 REPERCUSSIONES EN LA AVIACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COORDENADAS BASADAS EN DISTINTOS SISTEMAS DE REFERENCIA	28
3.2 REPERCUSSIONES DE LA UTILIZACIÓN DE COORDENADAS GEOGRAFICAS EN LA NAVEGACIÓN	30
3.3 PRINCIPIOS DE GEODESIA	32

	pág.
3.3.1 Definición de Geodesia	32
3.3.2 Por qué se ocupa la Geodesia del Campo Gravitacional?	32
3.3.3 Figura de la tierra y superficies de referencia	33
3.3.4 La Tierra como elipsoide	33
3.3.5 La Tierra como geoide	33
3.3.6 Sistema de coordenadas y elipsoides de referencia	34
3.4 RELACIÓN ENTRE CARTOGRAFÍA Y SIG	37
3.5 CARTAS AERONÁUTICAS: ESPECIFICACIONES GENERALES	38
3.5.1 Las fases de vuelo	38
3.5.2 Información varia	39
* Símbolos	39
* Unidades de medida	39
* Proyecciones cartográficas	40
* Ortografía de nombres geográficos	42

	pág.
* Zonas prohibidas, restringidas o peligrosas	43
* Espacio aéreo para el servicio de tránsito aéreo	43
3.6 SISTEMAS CNS/ATM (SISTEMAS DE COMUNICACIONES, NAVEGACION Y VIGILANCIA/GESTION DE TRANSITO AEREO)	43
3.7 CONCEPTUALIZACIÓN DEL GEOPROCESAMIENTO	45
3.8 PRECISIÓN, RESOLUCIÓN E INTEGRIDAD DE LOS DATOS AERONÁUTICOS	46
3.9 METADATOS DE CONFORMIDAD 1 (Metadatos Mínimos)	55
3.9.1 Contenido de un metadato	56
* Sección de identificación	56
* Sección de calidad	59
* Sección de organización de los datos espaciales	59
* Sección de referencial espacial	59
* Sección de distribución	59
* Sección de citación	59



	pág.
* Sección de contacto	60
3.10. INFORMACIÓN AERONÁUTICA	62
4. METODOLOGÍA	65
4.1 Fase 1: Diagnóstico	67
4.2 Fase 2: Análisis y Diseño	71
4.3 Fase 3: Desarrollo	71
4.4 Fase 4: Implementación	72
5. NIVEL DE SEGURIDAD DEL SIG	74
6. RESULTADOS	75
7. CONCLUSIONES	76
8. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXO A. ANÁLISIS Y DISEÑO	88
ANEXO B. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	138

	pág.
ANEXO C. PANTALLAS DEL SISTEMA	144
ANEXO D. SIGLAS Y/O ABREVIATURAS AERONÁUTICAS	147

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Proyecciones Cartográficas	40
<b>Figura 2.</b> Proyecciones Cónicas	41
<b>Figura 3.</b> Proyección UTM	42
<b>Figura 4.</b> Infraestructura de Aeropuertos	62
<b>Figura 5.</b> Formulario de Presentación Principal	68
<b>Figura 6.</b> Ventana de contraseñas para Acceso	68
<b>Figura 7.</b> Formulario de entrada a Cartas de Aproximación	69
<b>Figura 8.</b> Carta Aeronáutica de Aeródromo José Maria Córdova	70
<b>Figura 9.</b> Aeropuerto José María Córdova de Rionegro	70

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Coordenadas de Interés para la Navegación Aérea	29
<b>Tabla 2.</b> Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos	47
<b>Tabla 3.</b> Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos	49
<b>Tabla 4.</b> Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos	50
<b>Tabla 5.</b> Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos	51
<b>Tabla 6.</b> Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos	53
<b>Tabla 7.</b> Precisión y Probabilidad	54
<b>Tabla 8.</b> Identificación de las Cartas I	57
<b>Tabla 9.</b> Identificación de las Cartas II	58
<b>Tabla 10.</b> Atributos mínimos	60
<b>Tabla 11.</b> Ejemplo	61

## LISTA DE FIGURAS – ANEXO A

	pág.
<b>Figura 1.</b> Diagrama de Clases y Objetos I	94
<b>Figura 2.</b> Diagrama de Clases y Objetos II	95
<b>Figura 3.</b> Escenario	96
<b>Figura 4.</b> Diagrama de Caso de Uso	97
<b>Figura 5.</b> Diagrama de Caso de Uso II	98
<b>Figura 6.</b> Diagrama de Caso de Uso III	99
<b>Figura 7.</b> Diagrama de Estados I	100
<b>Figura 8.</b> Diagrama de Estados II	101
<b>Figura 9.</b> Diagrama de Estados III	102
<b>Figura 10.</b> Diagrama de Actividades	103
<b>Figura 11.</b> Diagrama de Actividades II	104
<b>Figura 12.</b> Diagrama de Actividades III	105

	pág.
<b>Figura 13.</b> Diagrama de Actividades IV	106
<b>Figura 14.</b> Diagrama de Secuencia	107
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Secuencia II	107
<b>Figura 16.</b> Diagrama de Secuencia III	108
<b>Figura 17.</b> Diagrama de Secuencia IV	109
<b>Figura 18.</b> Diagrama de Secuencia V	110
<b>Figura 19.</b> Diagrama de Secuencia VI	111
<b>Figura 20.</b> Diagrama de Secuencia VII	111
<b>Figura 21.</b> Diagrama de Secuencia VIII	112
<b>Figura 22.</b> Diagrama de Secuencia IX	112
<b>Figura 23.</b> Diagrama de Secuencia X	113
<b>Figura 24.</b> Diagrama de Secuencia XI	114
<b>Figura 25.</b> Diagrama de Colaboración I	115
<b>Figura 26.</b> Diagrama de Colaboración II	116

	pág.
<b>Figura 27.</b> Diagrama de Colaboración II	117
<b>Figura 28.</b> Diagrama de Colaboración IV	118
<b>Figura 29.</b> Diagrama de Paquetes	119
<b>Figura 30.</b> Diagrama de Componentes	120
<b>Figura 31.</b> Diagrama de Despliegue	121

## LISTA DE TABLAS ANEXO A

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Funciones del Sistema	82
<b>Tabla 2.</b> Aeródromo	88
<b>Tabla 3.</b> Área de Control Terminal	88
<b>Tabla 4.</b> Áreas Restringidas	89
<b>Tabla 5.</b> Cartas de Radionavegación	89
<b>Tabla 6.</b> Ciclos de Espera	89
<b>Tabla 7.</b> Ciudades	90
<b>Tabla 8.</b> Departamentos	90
<b>Tabla 9.</b> Designadores de Rutas ATS	90
<b>Tabla 10.</b> Fases de Vuelo	90
<b>Tabla 11.</b> Localizaciones	90
<b>Tabla 12.</b> Obstáculos	91
<b>Tabla 13.</b> ARP	91



	pág.
<b>Tabla 14.</b> Puntos de Notificación	91
<b>Tabla 15.</b> Relación entre Radioayudas y Tipos de Ayuda	92
<b>Tabla 17.</b> Rutas	92
<b>Tabla 18.</b> Rutas ATS	92
<b>Tabla 19.</b> Tipo de Ayudas	92
<b>Tabla 20.</b> Tipo de puntos de notificación	93
<b>Tabla 21.</b> Umbrales de Pista.93	93

## LISTA DE FIGURAS – ANEXO C

	pág.
<b>Figura 1.</b> Aeródromos Controlados	138
<b>Figura 2.</b> Aeródromos No Controlados	139
<b>Figura 3.</b> Helipuertos	140

## **RESUMEN**

El transporte aéreo juega un papel importante en el marco social y económico del mundo entero y el tráfico aéreo es ampliamente predecible como el doble del actual para el año 2020. Una industria del transporte aéreo segura y sostenible es la llave del futuro crecimiento y desarrollo de diferentes intereses en la economía global.

En este sentido, la tecnología de los SIG es uno de los frentes de desarrollo y aplicaciones apropiadas de tecnologías de avanzada, para todos los sectores de la industria aérea para alcanzar dichos objetivos. Los sistemas de Gestión del Tráfico Aéreo deben explotar los movimientos de avanzada tecnología, pero deberían ser aplicados en una forma que otorgue beneficios a todos los involucrados en la cadena de valor del transporte aéreo. Las soluciones a largo plazo para el transporte aéreo no deben ser olvidadas para obtener los máximos beneficios. Este proyecto es relacionado con una aproximación inicial del uso de software SIG en una aplicación de tráfico aéreo en Colombia.

## **ABSTRACT**

Air transport plays an important role in the social and economic framework worldwide, and air traffic is widely predicted to double by 2020. A safe, vibrant and sustainable air transport industry is key to the future growth and development of different interests in the global economy.

In this way, the GIS technology is one of the forefront of the development and appropriate application of advanced technologies for all sectors of the air transport industry to achieve these goals. The Air Traffic Management system must exploit the forward moves in technology, but it should be applied in a way that delivers benefits to all stakeholders throughout the air transport value chain. Long-term solutions for air transport must not be forgotten in order to realise the maximum benefits. This project is related to an initial approach to use a GIS software in air traffic application in Colombia.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información geográfica (SIG's) se pueden definir como conjuntos interactivos de paquetes de computación donde se combinan bases de datos y mapas digitalizados, con el fin de analizar y definir planteamientos según las necesidades del usuario final, además son fuente de apoyo para orientar la organización de información georreferenciada y suministrar pruebas que arrojen como resultado un nivel de evaluación para apoyar la toma de decisiones de labores financieras, manejo de imágenes en tercera dimensión, compatibilidad de datos georreferenciados, accesibilidad continua a los usuarios finales y muchas más aplicaciones del mundo real.

El propósito de esta aplicación es una alternativa de instrumentación de los SIG para mejorar las consultas específicas a cartas de radionavegación que actualmente se hacen a documentos físicos.

Los datos georreferenciados atinentes a la información de bases de datos de radioayudas, zonas prohibidas, restringidas y peligrosas, puntos de notificación, rutas ATS, coordenadas de los puntos de referencia de aeródromo (ARP) de Colombia, que contienen dentro de su información tabulada la localización, identificación OACI, longitud de pista, elevación y orientación de cada pista que requiere una carta determinada, puntos de notificación, entre otras, atendiendo a las peticiones finales que soliciten los tres tipos de usuarios finales (Administrador, Piloto y Controlador de Tránsito Aéreo) que les permita interactuar de forma amable y sencilla con la interfaz gráfica, para efectuar dichas funciones como: la definición e integración de nuevos parámetros que constituyan las Cartas de Navegación, modificación y verificación de datos, consulta de información real y actualizada, reducción de tiempo en la realización de un proceso de consulta, optimización y ubicación geográfica de puntos de actividad de vuelo, información de coordenadas asociadas al Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS-84), gestión de actividades, visualización de consultas de forma ordenada, secuencial y documentada y planificación de monitoreo. Estas cartas fueron generadas en Autocad (Versión 14), mediante un proceso de digitalización con el fin de presentar y seleccionar los elementos que constituyen cada mapa, estableciendo las respectivas coordenadas a partir del diseño real del mismo usando el sistema vectorial. La base de datos y las cartas de radionavegación, fueron incorporadas al Software "ArcView", permitiendo compatibilidad entre sus componentes para el óptimo funcionamiento de esta aplicación. El reto fue formular una propuesta de manejo de información aeronáutica, para datos geoespaciales correspondientes a las Cartas de Radionavegación, que contribuyera considerablemente al desarrollo de la región o país que adoptara la política y decisión de importancia que tiene

esta aplicación y ofreciera una valiosa información para consulta de las Cartas que conforman cada una de las fases de vuelo.

Llevar a cabo dichas consultas manualmente presenta incomodidad y son demoradas; además al cabo del tiempo las cartas de radionavegación empiezan a deteriorarse, impidiendo que sean legibles los datos que hacen posible navegar por el espacio aéreo.

Esta fue una de las consideraciones que dieron lugar al desarrollo de la aplicación "Sistema de Información Geográfica con propósitos Aeronáuticos para Colombia", el cual implicó la digitalización de las cartas de radionavegación, la recolección y almacenamiento de datos e incorporación conjunta de dicha información al ArcView con el propósito de facilitar las consultas asociadas al sistema.

Este proyecto de desarrollo se fundamenta en todos aquellos aspectos relacionados al servicio de tránsito aéreo relacionado con la actividad de la aeronavegación y cuyo objetivo final es el de dinamizar y optimizar la información de dicha actividad, orientado al alcance de seguridad para los usuarios finales de tal aplicación.

El análisis de las generalidades de la aeronavegación que se genera de las Cartas Aeronáuticas, puede tener aplicabilidad para efectos de esta actividad en territorio colombiano, aunque es necesario determinar las especificaciones geográficas de nuestro territorio, con el fin de hacer los ajustes necesarios según los dictámenes de las reglamentaciones internacionales.

Es bien sabido que la tecnología está en constante desarrollo a nivel mundial y es importante estar a la vanguardia de la misma, de manera especial en el campo de la aeronáutica, industria ampliamente reconocida y de rápida evolución.

## JUSTIFICACIÓN

Los constantes avances en la gestión de tránsito aéreo a nivel mundial, demandan una acción dinámica por parte de quienes tienen la responsabilidad de optimizar dichas actividades; en tales circunstancias, la sistematización tiene una función de singular importancia como facilitadora de los diferentes procesos que se dan en las distintas áreas del saber humano.

El ámbito de las comunicaciones aéreas demanda un vasto campo investigativo, dadas las condiciones de complejidad del mismo; en primera instancia, su campo físico de acción (tierra y aire) presenta una gran diversidad, la estructura cognoscitiva de los aspectos físicos referentes a la aeronavegación, parte de consideraciones geográficas elementales, tales como las coordenadas geográficas, el momento gravitacional de la tierra en un determinado sitio, aspectos de velocidad y magnitud de los vientos, factores topográficos y tecnológicos en general, de acuerdo con la disposición geográfica en la que se ubique un determinado proceso de desarrollo o de implementación; de otra parte, el campo humano es otro aspecto que merece y demanda una acción más decidida de quienes en una u otra forma, pueden aportar herramientas o fundamentos para su viabilidad.

En lo atinente al aspecto físico, la actividad de la aeronavegación depende de algunas variables que deben ajustarse a una posición geográfica específica, en tal sentido, las cartas son de gran valor en los procesos de búsqueda y encuentro de la seguridad vial aérea, caso en el cual éstas necesitan ser de una aplicación inmediata y efectiva, para lo cual, una adecuada sistematización permitirá una mejor garantía para los usuarios de las mismas.

A su vez, los aspectos humanos hacen referencia a la capacidad de comprensión, utilización e interpretación de dichas Cartas Aeronáuticas por parte de los usuarios finales (Pilotos y Controladores de Tránsito Aéreo).

La implementación de los SIG, es una real prioridad en cualquier ámbito geográfico, de ahí que existan convenios internacionales en los que se evidencia la inminente necesidad de compartir estos conocimientos, ya que el mundo de la gestión de tránsito aéreo fundamentalmente tienen la rúbrica de la universalidad, es decir, permiten la comunicación entre territorios a gran distancia guardando un margen global de normas estandarizadas a nivel mundial. Así un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la viabilidad de la gestión del tránsito aéreo y que benefician a un contexto territorial y también universal.

El presente proyecto de desarrollo se ubica como un aporte a la gestión de tránsito aéreo, en el que sus características esenciales son la dinamización, la agilización,

la efectividad y la universalidad en su utilización. Este sistema facilita la manipulación de la información y apoya la toma de decisiones al momento de ejecutar un vuelo y será un aporte fundamental en el campo de la aviación como plataforma para que otros trabajos de este mismo tipo se lleven a cabo.



## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Los comienzos de la aeronavegación se constituyeron en un evento de singular importancia en el desarrollo de las comunicaciones mundiales y permitieron incrementar el intercambio comercial y cultural entre las diferentes naciones. A medida que se fue dando su desarrollo, se detectó la necesidad de ir consolidando parámetros específicos que pudieran viabilizar dicha actividad.

La naturaleza misma de la aviación ha estado estrechamente vinculada con todos los tópicos referentes a la ciencia geográfica, donde sus avances se han reflejado a través de la evolución de la tecnología de punta mediante lo que se conoce hoy como Geomática.

Como toda disciplina científica, la actividad de la aeronáutica puede considerarse como todo un proceso, es decir, como un hecho en continuo crecimiento y que en muchas oportunidades, sus avances han sido fruto de las deficiencias o debilidades detectadas.

A partir de la evolución en tiempo y espacio, se han ido estableciendo normatividades que van desde una adecuada utilización del suelo como sustento de las salidas y entradas de las aeronaves, hasta el desarrollo y mantenimiento técnico de las mismas; durante dicho proceso se han llegado a plasmar tres aspectos fundamentales en los que se basan la viabilidad de tal actividad:

- Avances Tecnológicos en la Construcción de Aeronaves.
- Diseños Estructurales Dinámicos de Aeródromos.
- Cartas de Radionavegación.

Todos estos avances científico – tecnológicos se han proyectado al paulatino desarrollo de la sistematización para concretarse en los denominados “Sistemas de Información Geográfica” (SIG).

Colombia se encuentra en proceso de desarrollo de los Sistemas de Información geográfica en el campo de la aeronáutica. Existe con ciertas limitaciones este tipo de sistema en la división de procedimientos de la dirección de operaciones de la Aeronáutica Civil en Bogotá.

Dicho SIG corresponde al software MEG de Intergraph, de elevado costo económico y por razones de problema de licencia y daños en el hardware, está siendo empleado en la generación solamente de algunos planos. Sin embargo

ningún aeropuerto del país, a diferencia de la mencionada con anterioridad, dispone de un SIG con el propósito de incorporar información aeronáutica para brindar consultas a los pilotos antes de la ejecución de un vuelo.

En síntesis, en el ámbito de desarrollo de los SIG en Colombia con propósitos aeronáuticos, la evolución de dichas herramientas ha sido poco notoria porque no cuenta con un Sistema de Información Geográfica que contenga las Cartas de Radionavegación que especifiquen las Rutas ATS (Servicio de Tránsito Aéreo), Puntos de Notificación, Radioayudas, Zonas Restringidas, Peligrosas y Prohibidas, Frecuencias, Altitudes y Distancias de las mismas, además de las características específicas de los Aeródromos como ARP(Punto de Referencia del Aeródromo) y Umbrales de Pista, Obstáculos, Elevación, Identificador entre otros.

Por tanto, es una necesidad incluir dentro de los Servicios de Información Aeronáutica (AIS), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con Propósitos Aeronáuticos que complementen el procedimiento de ejecución de vuelos a los Pilotos, optimizando tiempo y consultas al momento de definir origen y destino, para llevar a cabo sus asignaciones de vuelo. Así mismo, interactuar con una aplicación que contenga una interfaz gráfica amigable coherente, sencilla para su uso y le suministre la información necesaria que esta asociada a las Cartas de Radionavegación implementadas en éste Sistema de Información Geográfica.

Las áreas incluidas dentro de este proyecto son las siguientes:

- **Área Tecnológica:** Área específicamente encargada del proceso de digitalización, ingreso, captura y presentación de la información contenida en los manuales de normas, rutas y procedimientos ATS correspondientes. Está conformada por un conjunto de elementos interactuados entre sí, para llevar a cabo una tarea específica.
- **Área Geográfica:** Área que se encuentra inmersa dentro de este proyecto, encargada de la descripción y manejo de datos espaciales de la superficie de la tierra, metadatos y proyecciones, dado que el SIG maneja datos referenciados a esta área.
- **Área de Desarrollo:** Área dispuesta al proceso de examinar el proyecto con el propósito de mejorar y contribuir a una solución eficiente a través de métodos y procedimientos más adecuados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un Sistema de Información Geográfica para las ayudas de navegación aérea y aerovías en Colombia implantando el WGS-84 como sistema de referencia geodésico.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Generar una base de datos con información aeronáutica de ayudas de navegación aérea y aerovías de los espacios tanto superior como inferior de Colombia.
- Georreferenciar la información correspondiente a las áreas de tránsito aéreo que facilite procesos espaciales.
- Identificar y establecer áreas geográficas con restricciones en el tránsito aéreo para facilitar los procesos de navegación.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 REPERCUSIONES EN LA AVIACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COORDENADAS BASADAS EN DISTINTOS SISTEMAS DE REFERENCIA

El Centro Aeroespacial de la atmósfera superior de Maastricht [Upper Airspace Centre (UAC)] se enfrentó por primera vez con problemas de referencia geodesica de la navegación aérea en Europa a principios del decenio de 1970 durante la elaboración de sistemas de seguimiento multiradar, al procesar los datos de trazas provenientes de radares situados en Alemania, Bélgica y Reino de los países bajos para formar una visualización compuesta de derrotas (trayectoria), destinada para los controladores de transito aéreo. Se comprobó que las discrepancias en las trazas radar provenían de coordenadas incompatibles.

A mediados del decenio de 1970, durante experimentos de trayectografía con el sistema SAVVAN Frances (Système Automatique de Vérification en Vol des Aides a la Navigation, es decir, sistema automático de verificación de ayudas para la navegación en vuelo) se observaron “saltos” de posición al conmutar entre transpondedores del equipo radiotelemétrico (DME) situados en distintos países.

Si se obtienen las coordenadas de las ayudas Radar para la navegación de base terrestre utilizando dos o más referencias geodésicas distintas, la posición de la aeronave en el plano horizontal se determinará con dos o más conjuntos distintos de valores de la Latitud y de la Longitud. En unidades métricas podrían aparecer dos posiciones de la aeronave con una discrepancia de hasta varios centenares de metros cuando sea simultáneamente localizada y seguida por dos radares: Referencia radar uno y Referencia radar dos.

La Tabla 1 muestra las coordenadas de interés para la navegación y que de una u otra forma, la mayoría están involucradas en este proyecto.

**Tabla 1. Coordenadas de Interés para la Navegación Aérea**

<b>Coordenadas de Zonas/en Ruta</b>	<b>Coordenadas de Aeródromo /helipuerto</b>
Puntos en ruta ATS/RNAV	Puntos de referencia de aeródromo/helipuerto
Puntos de espera	Umbrales de pista, FATO
Radioayudas para la navegación en ruta	Radioayudas para la navegación en el área terminal
Zonas restringidas/relegrosas/prohibidas en Ruta	Puntos FAF,FAP y otros IAP esenciales
Obstáculos en ruta	Puntos en el eje de la pista
Límites de la FIR	Puestos de estacionamiento de aeronaves
CTA,CTZ	Obstáculos de aeródromo/helipuerto
Otros puntos significativos	

Esto podría llevar a la situación de que una misma aeronave, cerca de la frontera entre dos países que tengan distintas referencias geodésicas, podría ser observada por los radares de los dos países como si ocupara posiciones distintas, con la posibilidad de que se interpretara erróneamente las separaciones entre aeronaves y los márgenes de seguridad respecto a zonas restringidas.

En todo el mundo existen multitud de referencias geodésicas para el trazado de mapas de zonas particulares. Cada referencia ha sido obtenida adaptando un modelo particular matemático de la tierra (Elipsoide) a la forma verdadera de la tierra (Geoide), de tal forma que se reduzca aun mínimo las diferencias entre el elipsoide y el geoide en toda la zona de interés. La mayoría de los elipsoides que se utilizan actualmente se obtuvieron el pasado siglo normalmente por referencia a un observatorio local. Estas referencias y elipsoides distintos producen retículas distintas de latitud y longitud y por consiguiente, distintos conjuntos de coordenadas geográficas. Los diversos países han elaborado sus propias referencias geodésicas que habitualmente difieren de los países adyacentes.

Si se observa la situación actual, hemos de reconocer que en el entorno en ruta, el uso de ayudas para la navegación de base terrestre con

distintos marcos de referencia no influye de modo significativo, puesto que los medios primarios para la navegación continúan siendo las señales del VOR(Radiofaro omnidireccional VHF) o del NDB (Radiofaro no direccional) que definen las derrotas radiales hacia o desde el radiofaro, con los puntos de viraje ya sea en el radiofaro o una distancia de este determinada por el DME(Equipo radio telemétrico (Equipo medidor de distancia). En tales circunstancias, las coordenadas publicadas de la ayuda para la navegación no influyen en la derrota que siga la aeronave. Esto cambiará dramáticamente ya sea en la fase de aproximación y aterrizaje o cuando se implante la separación lateral reducida entre aeronaves, es decir, los sistemas de navegación de área (RNAV) y de performance requerida de navegación (RNP) con requisitos mas rigurosos de precisión y de integridad. Por consiguiente, estas discrepancias ya no podrán tolerarse y exigirán la introducción de un sistema común de referencia geodésica en la aviación civil internacional. El departamento de defensa de los Estados Unidos (comité del sistema Geodésico mundial) ha definido y elaborado una serie de sistemas de referencia geocéntricos que a su vez pueden servir de referencia para otras redes geodesicas. El continuo desarrollo de este sistema mediante la información cada vez mas abundante de los satélites llevo al sistema geodésico mundial: 1960 (WGS-60), 1966 (WGS-66), 1972 (WGS-72) y a la definición actual (WGS-84).<sup>1</sup>

### **3.2 REPERCUSIONES DE LA UTILIZACIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN LA NAVEGACIÓN**

Las coordenadas geográficas de uso general hoy en día en el entorno de la aviación civil son de dos clases, es decir, coordenadas de origen terrestre y coordenadas de origen en el sistema de navegación. Las coordenadas de origen terrestre son aquellas que se obtienen mediante levantamientos topográficos, cálculos y mediciones. Estas coordenadas son presentadas por las autoridades de aviación civil en sus publicaciones de información aeronáutica (AIP) y en los mapas y cartas que se ponen a disposición del público. Las coordenadas de origen en el sistema de navegación son aquellas que se obtienen a partir de sistemas a bordo mediante acelerómetros y señales de la tierra o de satélites.

---

<sup>1</sup>ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL. *Manual del sistema geodésico mundial – 1984 (WGS-84)*. 1997. p. 2-3 .

Se determinan las coordenadas de origen terrestre (Latitud y Longitud) mediante mediciones y cálculos a base de modelos matemáticos. Estos modelos representan la forma de la tierra en una región geográfica particular y se denominan referencias geodésicas. Por ejemplo, las coordenadas utilizadas por la aviación civil en Estados Unidos tienen una referencia matemática o se calculan a base en el North American Datum (NAD), las de Japón por referencia al datum a Tokio y las de Europa por referencia al datum europeo. European Datum(ED).

Aunque los estados raramente publican una referencia geodesica, tienen comúnmente la práctica de emplear una referencia concreta para todo el trazado de mapas, cartas y actividades geodésicas. Los parámetros matemáticos de estas referencias son distintos, como también es distinta la posición del centro de cada referencia y con excepción de todos los países que ya han efectuado la conversión a una referencia geocéntrica, ninguno de los centros de referencia coincide con el centro de gravedad de la tierra.

Dado que el INS está alineado con las coordenadas locales antes del despegue, se obtiene la máxima precisión dentro el área definida por la referencia local. Hasta el momento, los vuelos entre zonas con distintas referencias no han sido obstaculizados por el “desplazamiento de coordenadas que es pequeño si se compara con la desviación del INS durante la fase en ruta de vuelos a larga distancia.

Las coordenadas obtenidas a partir de las señales del Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) a bordo que provienen de los satélites serán geocéntricas porque los satélites del GNSS funcionan con un modelo de referencia geocéntrica, es decir, el WGS 84. Las coordenadas del GNSS no podrán compararse con las coordenadas que se basen en referencias geodésicas locales salvo en zonas en las que estas coordenadas hayan sido reajustadas a una referencia geocéntrica. Esto significa que habrá de tenerse en cuenta la diferencia entre las coordenadas de un punto respecto a una referencia geodésica local y las coordenadas del mismo punto respecto de una referencia WGS – 84 geocéntrica.

La solución del problema consiste en adoptar el WGS 84 como marco común de referencia geodésica para la aviación civil. En la implantación de cualquier transformación de coordenadas es realizar un inventario, para poder evaluar la calidad de las coordenadas geográficas aeronáuticas publicadas que se requieren para la navegación aérea, es necesario examinar todos los registros actualmente existentes al respecto de datos de coordenadas aeronáuticas. En principio pueden

emplearse dos enfoques independientes o métodos combinados para transformar al WGS 84, los datos de un levantamiento topográfico presentados en coordenadas de adecuada precisión:

- Levantamiento topográfico por lo menos de tres estaciones de control (que cubran el área de estudio) para obtener las coordenadas en WGS 84 y determinar los parámetros de referencia entre el marco de referencia local y el WGS 84.
- Determinar para todos los puntos restantes, las coordenadas WGS 84 mediante el cálculo de la transformación de referencias.<sup>2</sup>

### 3.3 PRINCIPIOS DE GEODESIA

**[3.3.1] Definición de Geodesia.** Geodesia es la ciencia relacionada con el estudio de la forma y el tamaño de la tierra en sentido geométrico as como con la forma de las superficies equipotenciales de potencial gravitacional, Friedrich R. Helmert (1880).

Una segunda definición representa una descripción más moderna del comité sobre geodesia de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos:

- Establecimiento y mantenimiento de redes geodésicas tridimensionales, nacionales y mundiales.
- Medición y análisis de los fenómenos geodinámicos (rotación de la tierra, mares de la tierra, movimientos de cristales, etc.).
- Determinación del campo gravitacional de la tierra.

**[3.3.2] Por qué se ocupa la Geodesia del Campo Gravitacional?.** Cada medición geodésica es una función del campo gravitacional. Por ejemplo, colocando un instrumento en el campo horizontal mediante burbujas de alcohol, se alinea su eje vertical con la línea de plomada local (vector local de gravitación) que, desgraciadamente, pueda variar de un punto a otro. En segundo lugar, al definir las alturas tenemos que emplear una superficie equipotencial del campo gravitacional a título de referencia vertical.

---

<sup>2</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL, Ibid., p. 2-3.



**[3.3.3] Figura de la tierra y superficies de referencia.** Se consideró en primer lugar que la figura de la tierra era aproximadamente la de una esfera y mas tarde la de un elipsoide. Mientras que estas aproximaciones son de carácter geométrico, el geoide representa una superficie de referencia dinámica, una determinada superficie equipotencial del campo gravitacional de la tierra.

**[3.3.4] La Tierra como elipsoide.** Hacia finales del siglo XVIII, Newton demostró que el concepto de una tierra verdaderamente esférica era inadecuado para explicar el equilibrio de la superficie de los océanos. Newton aducía que al ser la tierra un planeta en rotación, las fuerzas creadas por su propia rotación tenderían a ser aplicadas como fuerza a los líquidos sobre la superficie del Ecuador. Newton demostró mediante un modelo teórico sencillo que el equilibrio hidroestático habría de mantenerse si el eje ecuatorial de la tierra fuera de mayor longitud que el eje polar. Esto es equivalente a decir que el cuerpo esta achatado hacia los polos.

El achatamiento se define  $f = \frac{(a-b)}{a}$  como siendo a el semieje mayor y b el semieje menor del elipsoide.

En los siglos XVIII se definieron elipsoides que se adaptaban lo más posible a determinada región de la tierra. Estos elipsoides locales proporcionan todavía la referencia geométrica para las coordenadas horizontales de la diversas redes geodésicas nacionales (triangulación).

**[3.3.5] La Tierra como geoide.** Laplace (1802), Gauss (1828), Bessel (1837) y otros ya habían reconocido que la hipótesis de un modelo elipsoidal de la tierra no podía mantenerse si se comparaba con observaciones de alta precisión. No podía hacerse caso omiso de la desviación de la línea física de plomada, a la que se referían las mediciones, respecto a la normal elipsoidal. Mediante un ajuste de diversas mediciones de arco para la determinación de los parámetros elipsoidales a y f, surgieron contradicciones que excedían en mucho de la precisión de las observaciones.<sup>3</sup>

En los últimos 100 años la determinación del geoide ha sido la meta principal de la geodesia. Su importancia aumento recientemente con el nuevo concepto de sustituir las mediciones de nivelación con burbuja de alcohol por observaciones espaciales GPS y por el uso de alturas precisas de geoides. Otros aspectos mundiales requieren una

referencia vertical unificada es decir una determinación del geoide con precisión centimétrica o incluso milimétrica.

**[3.3.6] Sistema de coordenadas y elipsoides de referencia.** Las siguientes son definiciones generales geodésicas:

- **Coordenada:** Un número entre un conjunto de números N que designa la posición de un punto en un espacio N dimensional.
- **Sistema de coordenadas:** Conjunto de reglas para especificar la forma de asignar coordenadas a puntos en relación con un conjunto de ejes (origen).
- **Sistema de coordenadas local:** Debido a acontecimientos históricos, los departamentos nacionales de topografía calcularon en el pasado elipsoides que se adaptaban lo mejor posible a su país como base para la cartografía.

El origen y la orientación del sistema de coordenadas son arbitrarios pero frecuentemente la bola por debajo de la cruz en el pináculo de la torre de una determinada iglesia servía como punto cero u origen de un sistema nacional de coordenadas (ejemplo: el sistema de coordenadas de Soldner en Bavaria con su origen en la catedral de Munich “Liebfrauendom”). Los elipsoides nacionales son solamente las superficies de referencia geométrica para las coordenadas horizontales.

---

<sup>3</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL, Ibid., p. 2-3.

- Sistema cartesiano geocéntrico Fijo en la tierra (X, Y, Z). Como sistema fundamental de coordenadas terrenales, se introduce un sistema cartesiano espacial fijo en la tierra (X, Y, Z) cuyo origen es el centro de gravedad S de la tierra (geocentro, centro de gravedad incluida la masa de la atmósfera).

Sistema cartesiano espacial fijo en la tierra (X, Y, Z). El eje z coincide con el eje principal de rotación de la tierra (movimiento polar Polo CIO). El plano medio ecuatorial perpendicular a este eje constituye el plano (X-Y). El plano (X-Z) se genera mediante el plano meridional de Greenwich. Este último será definido por el eje medio rotacional y el meridiano cero de las longitudes adoptadas por el BIH (Bureau International de l'Heure) (Observatorio "medio" de Greenwich).

La dirección del eje Y es tal que se obtiene un sistema dextrógiro. La introducción de un eje medio rotacional es necesaria porque en el transcurso del tiempo, cambia la rotación respecto al cuerpo de la tierra. Esto se aplica a la posición del eje de rotación de la tierra (movimiento polar) y a la velocidad angular de la rotación.

- Coordenadas geográficas elipsoidales: La superficie de la tierra puede estrechamente aproximarse a un elipsoide rotacional con polos achatados (desviación en altura desde el geoide < 100m). Por lo tanto, los sistemas elipsoidales geoméricamente definidos se utilizan frecuentemente en lugar del sistema de coordenadas cartesianas espaciales.

Se crea el elipsoide rotacional haciendo que la elipse meridiano rote en torno a su eje menor. Por lo tanto, se describe la forma del elipsoide mediante dos parámetros geoméricos, el semieje mayor  $a$  y el semieje menor  $b$ ,  $f$  es el achatamiento (geométrico):

$$f = \frac{(a-b)}{a}$$

- Sistema de coordenadas elipsoidales espaciales:
  - Origen: centro de masa de la tierra
  - Latitud geográfica (geodésica)  $\phi$ : Angulo medido en el plano meridional entre el plano (x, y) ecuatorial y la superficie normal en el punto P.
  - Longitud geográfica (geodésica)  $\lambda$ : Angulo medido en el plano ecuatorial entre el meridiano (eje x) cero y el plano meridional de P.

Para la determinación espacial de puntos sobre la superficie física de la tierra (o en el espacio) respecto al elipsoide rotacional, se introduce la altura  $h$  por encima del elipsoide además de las coordenadas geográficas.

Las coordenadas elipsoidales, espaciales, se denominan coordenadas geodésicas. Se obtiene el punto  $Q$  sobre la elipsoide proyectando el punto  $P$  de la superficie (o del espacio) a lo largo de la normal al elipsoide. Se define un punto en el espacio y la forma del elipsoide mediante  $(a,f)$ .

Un modelo estándar de la tierra como cuerpo de referencia geodesica debería garantizar una buena adaptación a la superficie de la tierra y al campo externo gravitacional; pero también debería formarse mediante un principio sencillo.

A este respecto, el elipsoide rotacional, ya introducido como superficie de referencia geométrica, constituye una buena adaptación. Además del semieje mayor  $a$  y del achatamiento  $f$  como parámetros geométricos, se introduce en la masa total  $M$  y la velocidad angular de rotación  $\omega$  como parámetros físicos. Se forma seguidamente el campo gravitacional como resultado de la gravedad y de la rotación.

Si requerimos ahora que la superficie de este elipsoide sea una superficie nivelada de su propio campo gravitacional, entonces según el teorema de Stokes, el campo gravitacional está unívocamente definido en el espacio exterior a esta superficie. Este cuerpo se denomina elipsoide de nivel (o equipotencial). Además se proporcionan la constante gravitacional geocéntrica  $gM$  y el achatamiento dinámico  $C_{2.0}$  (armónico zonal de segundo orden de un modelo de gravedad de la tierra). Si se conoce los parámetros elipsoidales cuyos valores corresponden a la tierra real, esto proporciona la aproximación óptima a la geometría del geoide y al campo gravitacional externo: elipsoide medio de la tierra.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL, Ibid., p. 2-3.

### 3.4 RELACIÓN ENTRE CARTOGRAFÍA Y SIG

La cartografía es una disciplina que integra ciencia, técnica y arte, que trata de la representación de la Tierra sobre un mapa o representación cartográfica. Al ser la Tierra esférica debe apoyarse de un sistema de proyecciones para pasar de la esfera a un plano.

Un componente esencial de todo SIG es la cartográfica digital. Los datos geográficos son los que conceden tal naturaleza al sistema de información, su contenido general es de tipo cartográfico y su formato digital.

La cartografía digital puede lograrse por diversas fuentes y procedimientos: se puede transformar por digitalización de cartografía analógica, por restitución numérica, por adecuación de fotografías aéreas digitalizadas o por imágenes de teledetección.<sup>5</sup>

La elección de la cartografía a incluir en un SIG ha de estar en relación directa con las prestaciones que se espera del sistema. Para esta aplicación se ha utilizado la digitalización de mapas impresos mediante sistema vectorial, definiendo los puntos x,y,z respectivamente.

Estas representaciones actualmente se están realizando con programas informáticos llamados SIG, en los que se puede georreferenciar desde un árbol y su ubicación, hasta una ciudad entera como puede ser sus edificios, calles, plazas, puentes, jurisdicciones. Por tal razón es muy importante estructurar el modelo de datos que defina la clasificación de los elementos que componen cada mapa en puntos, líneas o polígonos y según su designación, dividir en capas relacionadas a su tema, de forma que se puedan visualizar claramente y la información este debidamente organizada y esquematizada.

---

<sup>5</sup>WIKIPEDIA. Cartografía. Enlaces externos [En línea] 18 de Septiembre de 2006. Wiki>Cartografía. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cartograf%C3%ADa>.

### 3.5 CARTAS AERONÁUTICAS - ESPECIFICACIONES GENERALES

**[3.5.1] Las fases de vuelo.** La cartografía correspondiente a las diferentes Fases de Vuelo son:

1. Fase uno: rodaje desde el puesto de estacionamiento de la aeronave hasta el punto de despegue.
2. Fase dos: Despegue y ascenso hasta la estructura de rutas ATS (Servicio de Tránsito Aéreo) en ruta.
3. Fase tres: Estructura de rutas ATS en ruta.
4. Fase cuatro: descenso hasta la aproximación.
5. Fase cinco: Aproximación para aterrizar y aproximación frustrada.
6. Fase seis: Aterrizaje y rodaje hasta el puesto de estacionamiento de la aeronave.<sup>6</sup>

- En cada tipo de carta se proporciona la información apropiada a la fase correspondiente del vuelo, con el fin de asegurar una operación rápida de la aeronave.
- La presentación de la información es exacta, exenta de distorsiones y confusiones, inequívoca y legible en todas las circunstancias normales de operación.
- Los colores y el tamaño empleados para la presentación digitalizada serán legibles para que el piloto pueda leer e interpretar fácilmente la carta.
- La forma de presentar la información permite al piloto adquirir un tiempo razonable y compatible con su carga de trabajo y circunstancias operacionales.
- La presentación de la información en el sistema, ofrece un proceso de transición más rápido para cambiar de una carta a otra según la fase de vuelo.

---

<sup>6</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL, Op. cit., p. 69 - 71.

**3.5.2 Información varia.** Cada carta contiene la siguiente información, la cual varía según su tipo:

- Tipo de la carta.
- Nombre de la carta.
- Coordenadas geográficas.
- División de capas relacionadas a los temas de cada carta.
- Ubicación de puntos de referencia.
- Radioayudas.
- Áreas Prohibidas.
- Áreas Restringidas.
- Áreas Peligrosas.
- Área de Control Terminal.
- Región de Información de Vuelo.
- Puntos de Notificación.
- Rutas ATS.
- Distancias
- Ciclos de Espera.
- Sentido Preferencial.
- Perfiles de Vuelo.
- Aeródromos (ARP, Umbrales, Luces, ancho de pista, torre, etc)

\* **Símbolos.** Los símbolos utilizados se ajustan a los indicados por la OACI (Organización Internacional de la Aviación Civil), pero cuando se desee mostrar en una carta aeronáutica detalles o características especiales de importancia para la aviación civil respecto a los cuales no se disponga en la actualidad de un símbolo OACI, el Estado podrá elegir para ese fin cualquier símbolo apropiado, siempre que no origine confusión con algún símbolo cartográfico OACI existente.

\* **Unidades de medida**

- Las distancias se expresan en km y décimas de km o millas náuticas y décimas de milla o en ambas unidades, a condición de que se indique claramente las unidades empleadas.

- Las altitudes, elevaciones y alturas se expresan en metros o en pies. O en ambas unidades.

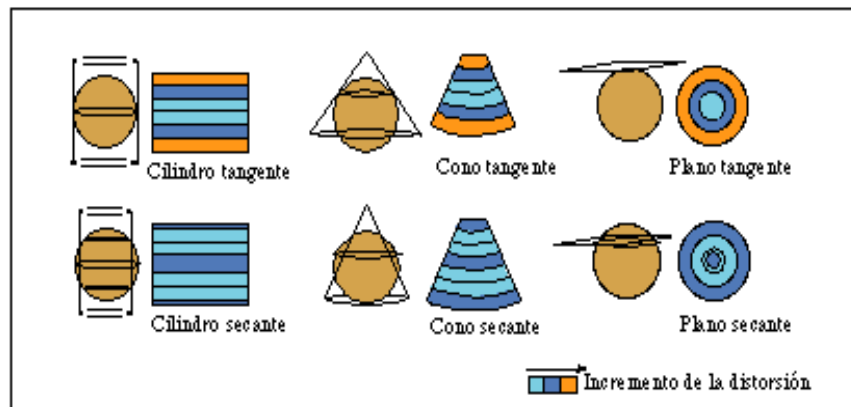
- Las dimensiones lineales en los aeródromos y pequeñas distancias se expresan en metros.

- Las unidades de medida usadas en el SIG son: Km/Millas Náuticas, Metros/Pies) para indicar distancias, elevaciones o altitudes.

\* **Proyecciones cartográficas.** Una Proyección Cartográfica es una correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie terrestre y los puntos de un plano llamado Plano de proyección.

Puesto que cualquier punto de la esfera está definido por sus coordenadas geográficas (l,f) y cualquier punto del plano lo está por sus coordenadas cartesianas (x,y), existe una serie infinita de relaciones que ligen (l,f) con (x,y). Cada una de estas infinitas relaciones será un sistema de proyección Cartográfico. La Figura 1 muestra algunos de los tipos de Proyecciones Cartográficas.

**Figura 1.** Proyecciones Cartográficas



Las proyecciones cónicas se producen al arrollar un cono sobre la superficie de la Tierra y proyectar los puntos sobre él. El eje del cono coincide con el eje de los polos, y el contacto de cono y esfera se produce a lo largo de un paralelo llamado estándar (también puede ser secante obteniendo dos paralelos estándar).

Los adelantos de la tecnología de la información en los dos últimos decenios han dado un empuje a la cartografía automática y por consiguiente al trazado de mapas digitales. Un mapa analógico impreso puede ahora ser digitalizado y transformado en una base de datos compatible con la computadora, lo que a su vez puede ser utilizado en una diversidad de aplicaciones del diseño asistido por computador (CAD) para sistemas de planificación, de ingeniería civil y para sistemas de información geográfica (SIG). Las organizaciones de levantamiento topográfico y cartográficas nacionales están ahora muy avanzadas en la digitalización de sus mapas nacionales, ordinariamente a escalas desde 1:1000 para zonas urbanas y hasta de 1:10000 para zonas rurales. En



algunas proyecciones cartográficas se muestra dos veces el mismo meridiano, puesto que los polos geográficos están representados por líneas en lugar de puntos o porque algunas de las partes de la superficie de la tierra no pueden mostrarse en la proyección.

En los levantamientos topográficos locales los cálculos se realizan habitualmente en coordenadas métricas planas. Estas coordenadas se obtienen proyectando el elipsoide de referencia hacia el plano mediante la aplicación de una de las conocidas proyecciones cartográficas (UTM, Gauss – Krüger, Cónica de Lambert, Estereográfica, Polar, etc.).

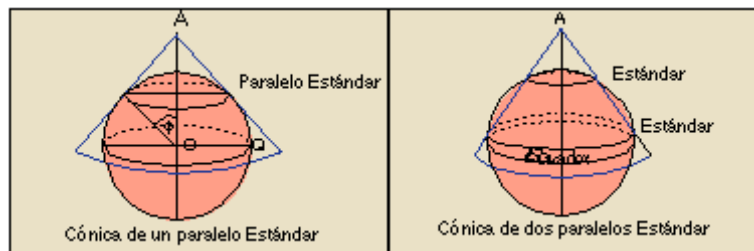
Las proyecciones pueden clasificarse de la siguiente forma:

Proyección cartográfica de la tierra respecto a: Un plano azimutal, un cono tangente, o un cilindro tangente. El plano el cono y el cilindro pueden estar en una posición perpendicular, transversal u oblicua respecto a la tierra. Además las superficies del plano, cono y cilindro pueden cortar el elipsoide (o esfera) de forma que existirán dos líneas de contacto. Estas proyecciones se denominan proyecciones secantes.

A continuación se definen los dos tipos de Proyecciones involucradas en el proyecto:

Proyección Cónica de Lambert: presenta dos paralelos estándar (proyección esférica) y es similar al caso tangencial pero con un cono secante que corta la esfera en dos paralelos estándar  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ . El origen de las coordenadas cartesianas están en un punto de latitud media supuesta. La Figura 2 muestra un claro ejemplo de Proyecciones Cónicas.

**Figura 2.** Proyecciones Cónicas



En las proyecciones cónicas (siempre que el eje del cono coincida con el eje de los polos) los meridianos aparecen como rectas concurrentes y los paralelos como circunferencias concéntricas. Entre las Proyecciones

Cónicas más importantes citaremos la Proyección Bonne, la Cónica Conforme de Lambert y la Proyección Cónica Equivalente de Lambert.

Proyección Universal transversal de Mercator (UTM): desde la superficie elipsoidal se expresa habitualmente como algunas expansiones de series, se aplica el factor de escala del meridiano central  $F_0$  multiplicando el semieje mayor  $a$  por  $F_0$  antes de calcular las demás cantidades.<sup>7</sup> La Figura 3 muestra un ejemplo de zonas de Proyección Mercator correspondientes al territorio nacional.

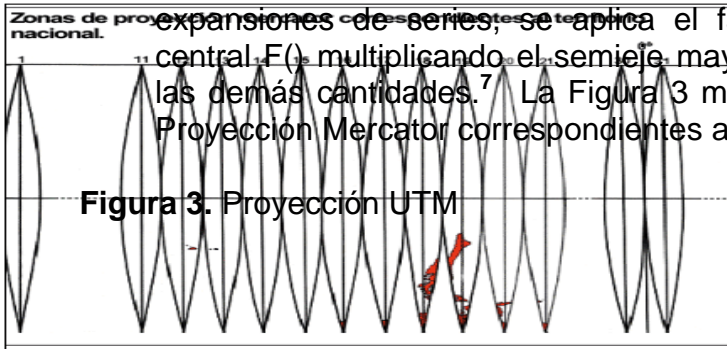


Figura 3. Proyección UTM

De acuerdo con la información recopilada la radionavegación aplica la Proyección Cónica de Lambert, pero para este caso de estudio en particular, se aplicó la Proyección Transversal de Mercator (proyección elipsoidal) porque las Cartas de Radionavegación de nuestro país (Colombia) están desarrolladas en proyección conforme y no se disponía de otras herramientas para su conversión; además en la construcción de las cartas a mediana y gran escala casi exclusivamente se utilizan proyecciones conformes porque son aquellas que conservan los ángulos y actualmente es la adoptada por la mayoría de los países del mundo.

\* **Ortografía de nombres geográficos.** Se utilizan caracteres que identifican el nombre de cada carta según su tipo y modo de utilización al momento de la ejecución de un vuelo, al igual para los nombres de lugares y elementos de cada capa que forman parte de la estructura de cada carta.

<sup>7</sup> Rodríguez García, María José. NOCIONES GRÁFICAS SOBRE PROYECCIONES CARTOGRAFICAS. Clasificación de las proyecciones. [En línea] Madrid. Abril de 1998. Proyecciones > Clasificación de las proyecciones. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cartograf%C3%ADa>

\* **Zonas prohibidas, restringidas o peligrosas.** Las zonas prohibidas, restringidas o peligrosas, se incluyen en el SIG con su debida identificación y se diferencian entre si porque cada zona maneja un color diferente. Cada zona se identifica por un designador de nombre.

\* **Espacio aéreo para el servicio de tránsito aéreo.** Cuando el espacio aéreo ATS figura en la carta, se indica la clase de dicho espacio mediante un color que identifica su área total. Para este caso de estudio las cartas de Nivel Superior son aquellas utilizadas para planeación de vuelos a nivel superior, altitudes mayores a 18.000 pies hasta 60.000 pies y solo aparecen las rutas correspondientes a este nivel (vuelos internacionales) por el contrario, las cartas de Nivel Inferior son aquellas utilizadas para planeación de vuelos a bajos niveles y su altitud varia de acuerdo a las necesidades del país, los límites máximos se sitúan en 18.000 pies y por lo tanto se utilizan para Rutas Nacionales.

Algunas cartas de Aproximación y Llegada, contienen un perfil de vuelo y una tabla de clasificaciones del espacio aéreo ATS, información que se encuentra en el menú de la interfaz gráfica de Aerosig.

### **3.6 SISTEMAS CNS/ATM (SISTEMAS DE COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA/GESTIÓN DE TRÁNSITO AÉREO)**

Los sistemas CNS/ATM, son sistemas en que se utilizan tecnologías digitales, entre ellas sistemas por satélite junto con diversos niveles de automatización, en apoyo de un sistema mundial, continuo de gestión de tránsito aéreo.

Fomentar la implantación de un sistema mundial continuo de gestión de tránsito aéreo que permita a los explotadores de aeronaves cumplir con sus horarios previstos de salida y llegada y mantener sus perfiles de vuelo predilectos con las restricciones mínimas y sin comprometer los niveles acordados de seguridad operacional.

Desarrollar un sistema mundial coordinado y continuo de servicios de navegación aérea que admita el crecimiento mundial de la demanda de tránsito aéreo, a la vez que:

- Mejore los niveles actuales de seguridad operacional.
- Mejore los niveles actuales de regularidad.
- Mejore la eficacia general del espacio aéreo y de las operaciones de aeropuertos, permitiendo aumentar su capacidad.
- Aumente la disponibilidad de los horarios y perfiles de vuelo.

- Minimice las necesidades diferentes de transporte de equipo entre distintas regiones.

El principal desafío de la OACI consiste en guiar el desarrollo evolutivo y la implantación de sistemas CNS/ATM que permita a los exploradores de aeronaves cumplir con horarios de salida y de llegada previos y respetar sus perfiles de vuelos preferidos con las mínimas restricciones establecidas previamente.

La OACI con sus investigaciones en el ámbito del tránsito aéreo, concluyó que la industria del transporte aéreo creció más rápidamente que la mayoría de las demás industrias en los decenios de 1980 y 1990. Entre 1985 y 1995, los viajes aéreos de pasajeros y la carga aérea en los servicios regulares aumentaron a tasas medias anuales de 5.0% a 7.6%, respectivamente. En el mismo período, las salidas de aeronaves y los kilómetros recorridos por aeronaves aumentaron a tasas medias de 3.7% y 5.8%, respectivamente.

Con lo anterior se puede entender la relevancia de la aeronáutica en la sociedad; es por ello que mejorar los sistemas de información y adquirir la mejor tecnología es la tarea del hombre actual para así satisfacer las necesidades que presenta cada día.

Los SIG en la aeronáutica tienen gran campo de uso en la navegación aérea; Dentro de todas las aplicaciones que tienen los SIG está la enorme industria de la aeronáutica, que a medida que evoluciona surgen más aplicaciones para desarrollar, es decir pueden implementarse herramientas para la aviación militar, comercial y privada. Los SIG pueden beneficiar la administración del tránsito aéreo, brindando información eficaz.

Los siguientes cuatro elementos marcan la pauta en la industria del cielo, según el Plan de Navegación Aérea para los Sistemas CNS/ATM (OACI, 2000):

1. Navegación: Busca planear y realizar aproximaciones de precisión con la ayuda de tecnologías de punta como los GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la ubicación de aeronaves en el espacio aéreo.

2. Comunicación: Pretende garantizar la comunicación de voz y datos entre sistemas de tierra y a bordo, a través de tecnología satelital.
3. Vigilancia: Busca proporcionar soporte para la manipulación de datos que el radar no detecta, su implantación es en tierra y pretende la detección y solución de conflictos.
4. Gestión de tránsito aéreo: Apoya y beneficia los adelantos tecnológicos CNS y contribuye al concepto de organización a gran escala involucrando la afluencia del tránsito aéreo, gestión del espacio aéreo y operaciones de vuelo.<sup>8</sup>

### **3.7 CONCEPTUALIZACIÓN DEL GEOPROCESAMIENTO**

El Geoprocesamiento está destinado al procesamiento de datos referenciados geográficamente, desde su recopilación hasta la creación de salidas en forma de mapas convencionales, informes, archivos digitales, etc.; debiendo poseer recursos para su almacenamiento, gerenciamiento, manipulación y análisis.

Es importante tener en cuenta que el geoprocesamiento es un término intrínseco en los SIG. El INPE (Instituto Nacional de Investigaciones espaciales de Brasil) lo define como el “Conjunto de tecnologías orientadas a la recopilación y tratamiento de informaciones espaciales con un objetivo específico”. Así, las actividades que envuelven el geoprocesamiento, son ejecutadas por sistemas específicos para cada aplicación. Estos sistemas son comúnmente llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Geoprocesamiento es un proceso en el que se aplica el análisis geográfico y se modelan los datos para producir nueva información. Contiene un ambiente de herramientas para procesar todos los tipos de datos, las cuales tienen designadas unas específicas funciones geográficas. Dentro de las herramientas disponibles de dicho procesamiento están disponibles el Análisis Espacial y el Análisis en 3D para realizar modelos raster y Análisis de Terreno.

---

<sup>8</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL. Normas y métodos recomendados internacionales. Cartas Aeronáuticas – Anexo 4. 1995. P. 6-8.

## **[3.8] PRECISIÓN, RESOLUCIÓN E INTEGRIDAD DE LOS DATOS AERONÁUTICOS**

La OACI ha definido los siguientes parámetros de precisión, resolución e integridad del Manual de Sistema Geodésico Mundial – 1984 (WGS - 84). 1997)

Las Tablas 2 - 7 muestran los parámetros definidos por la OACI.

### **[3.8.1] Latitud – Longitud**

\* Latitud: Distancia angular entre un paralelo norte o sur y el Ecuador.

\* Longitud: Distancia angular entre el plano de un meridiano Este u Oeste y el plano del meridiano de Greenwich.

Estos dos tipos de mediciones son de singular importancia para efectos de levantamiento topográfico en un punto determinado, concretamente, para la optimización de instalaciones de comunicaciones, puertos, agencias de navegación, puntos de verificación de la navegación, obstáculos y umbrales de las pistas. La Longitud y la Latitud permiten la definición del denominado Punto Declarado, el cual no depende ni está formalmente relacionado con ningún otro punto de levantamiento topográfico conocido.

**Tabla 2.** Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos

Latitud y Longitud	Precisión Tipo de Datos	Resolución de la Publicación	Resolución de los Mapas	Clasificación de la Integridad
Puntos límites de región de información de vuelo	2 Km (1NM) declarados	1 min	Según el trazado	1x10 <sup>-3</sup> ordinaria
Puntos límites de áreas P,R,D (fuera de los límites CTA/CTZ)	2 Km (1NM) declarados	1 min	Según el trazado	1x10 <sup>-3</sup> ordinaria
Puntos límites de áreas P,R,D (dentro de los límites CTA/CTZ)	100m calculados	1 s	Según el trazado	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Puntos límites CTA/CTZ	100m calculados	1 s	Según el trazado	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Ayudas para la navegación y puntos de referencia en ruta, espera, puntos STAR/SID	100m objeto de lev./ calculados	1 s	1 s	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Obstáculos	100m objeto de lev./ calculados	1 s	1 s	1x10 <sup>-3</sup> ordinaria
Punto de referencia de aeródromo/helipuerto	30m objeto de lev. calculados	1 s	1 s	1x10 <sup>-3</sup> ordinaria
Ayudas para la navegación aérea situadas en el aeródromo/helipuerto	3m objeto de lev.	1/10 s	Según el trazado	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Obstáculos en el área de circuito y en el aeródromo/helipuerto	3m objeto de lev.	1/10 s	1/10 s (AOC Tipo C)	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Obstáculos destacados en el área de aproximación y de despegue	3m objeto de lev.	1/10 s	1/10 s (AOC Tipo C)	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Puntos de referencia y otros puntos esenciales para la aproximación final comprendido el procedimiento de aproximación por instrumentos	3m objeto de lev./ calculados	1/10 s	1s	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Umbral de la pista	1m objeto de lev.	1/100 s	1 s	1x10 <sup>-8</sup> crítica
Extremo de pista (Punto de alineación de la trayectoria de vuelo)	1m objeto de lev.	1/100 s	1 s	1x10 <sup>-8</sup> crítica
Puntos de eje de pista	1m objeto de lev.	1 /100 s	–	1x10 <sup>8</sup> crítica
Puntos de eje de calle de rodaje	0.5m objeto de lev.	1/100 s	1/100 s	1x10 <sup>5</sup> esencial
Puntos de estacionamiento de aeronave/puntos de verificación INS	0.5m objeto de lev.	1/100 s	1/100 s	1x10 <sup>3</sup> ordinaria
Centro geométrico de la TLOF o umbrales FATO, helipuertos	1m objeto de lev.	1/100 s	1 s	1x10 <sup>-8</sup> crítica

### **3.8.2 Elevación – Altitud – Altura**

\* Elevación: Altura sobre un nivel de referencia determinado. Ejemplo: altura de un punto terrestre sobre el nivel medio del mar.

\* Altitud: Distancia vertical desde el punto considerado hasta la superficie del nivel medio del mar.

\* Altura: Elevación de cualquier cuerpo sobre la superficie de la tierra. Región del aire, considerada a cierta elevación sobre la tierra.

Son señales indicadas para puesto de estacionamiento y el topógrafo deberá preparar un diagrama con base en estos conceptos, indicando la disposición de las señales en uso con una indicación del punto de objeto de levantamiento, cuando en el aeródromo o helipuerto se señalan de forma uniforme todos los puestos de estacionamiento, solamente es necesario preparar un solo diagrama.



**Tabla 3.** Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos

<b>Elevación /altitud/altura</b>	<b>Precisión Tipo de datos</b>	<b>Resolución de la publicación</b>	<b>Resolución de los mapas</b>	<b>Clasificación de la integridad</b>
Elevación de aeródromo/helipuerto	0.5m o 1 ft objeto de lev.	1 m o 1 ft	1 m o 1 ft	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Ondulación del geoide WGS-84 en la posición de elevación de aeródromo/helipuerto	0.5m o 1 ft objeto de lev.	1 m o 1 ft	1 m o 1 ft	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Umbral de pista o FATO, aproximaciones que no son de precisión	0.5m o 1 ft objeto de lev.	1 m o 1 ft	1 m o 1 ft	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Ondulación del geoide WGS-84 en el umbral de pista o FATO, centro geométrico TLOF, aproximaciones que no son de precisión	0.5m o 1 ft objeto de lev.	1 m o 1 ft	1 m o 1 ft	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Umbral de pista o FATO, aproximaciones de precisión	0.25m o 1 ft objeto de lev.	0.5 m o 1 ft	0.5 m o 1 ft	1x10 <sup>-8</sup> crítica
Ondulación del geoide WGS-84 en el umbral de pista o FATO, centro geométrico TLOF, aproximaciones de precisión	0.25m o 1 ft objeto de lev.	0.5 m o 1 ft	0.5 m o 1 ft	1x10 <sup>-8</sup> crítica
Altura de cruce del umbral, aproximaciones de precisión	0.5m o 1 ft calculados	0.5 m o 1 ft	0.5 m o 1 ft	1x10 <sup>-8</sup> crítica
Obstáculos en las áreas de aproximación y de despegue	1m o 1 ft objetivo de lev.	1 m o 1 ft	1 m o 1 ft	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Obstáculos en las áreas de circuito y en el aeródromo/helipuerto	1m o 1 ft objetivo de lev.	1 m o 1 ft	1 m o 1 ft	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Obstáculos en ruta	3m (1 ft) objeto de lev.	3 m o (10 ft)	–	1x10 <sup>-3</sup> ordinario
Equipo telemétrico/de precisión(DME/P)	3m (10 ft) objeto de lev.	3 m o (10 ft)	–	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Equipo telemétrico/de precisión (DME/P)	3m (10 ft) objeto de lev.	3 m o (10 ft)	–	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Equipo telemétrico(DME)	30m (100ft) objeto de lev.	3 m o(100 ft)	30 m o (100 ft)	1x10 <sup>-5</sup> esencial
Altitud para procedimientos de aproximación por instrumentos	50m(100ft) objeto de lev.	50mo(100 ft)	50 m o (100 ft)	1x10 <sup>-3</sup> esencial

### 3.8.3 Declinación - Variación Magnética

\* Declinación: Arco del círculo meridiano sobre el que se mide su distancia al Ecuador o ángulo que forma un plano vertical, o una alineación con el meridiano del lugar que se considere.

\* Variación Magnética: Son desviaciones que se dan en forma constante entre el Polo Austral y el Polo Boreal (Polos de los Imanes), debido a la acción directa que la tierra ejerce sobre la aguja imanada. Tanto la Declinación como la Variación Magnética son de gran importancia para la ubicación de una aeronave y para consolidar su direccionamiento momento dado.

Para medir la declinación, basta orientar la brújula, es decir, colocar el diámetro NS (Norte - Sur) en el plano del meridiano terrestre, dirigiendo al Norte la extremidad N. Esta actividad cotidiana es del diario transcurrir en la Aeronavegación y permite un grado de seguridad en sus labores.

**Tabla 4.** Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos.

Declinación /Variación	Precisión Tipo de datos	Resolución de la publicación	Resolución de los mapas	Clasificación de la integridad
Declinación de la estación de ayudas para la navegación VHF utilizada para alineación técnica	1 GRADO objeto de lev.	1 GRADO	–	$1 \times 10^{-5}$ esencial
Variación magnética de las ayudas para la navegación NDB	1 GRADO objeto de lev.	1 GRADO	–	$1 \times 10^{-3}$ esencial
Variación magnética de aeródromo/helipuerto	1 GRADO objeto de lev.	1 GRADO	1 GRADO	$1 \times 10^{-5}$ esencial
Variación magnética de la antena del localizador ILS	1 GRADO objeto de lev.	1 GRADO	1 GRADO	$1 \times 10^{-5}$ esencial
Variación magnética de la antena en azimut MLS	1 GRADO objeto de lev.	1 GRADO	1 GRADO	$1 \times 10^{-5}$ esencial

### 3.8.4 Marcación

\* Marcación: Punto fijo de un lugar que sirve de referencia para saber la situación de una nave.

La precisión de los datos aeronáuticos de referencia es de absoluta necesidad, desde esta perspectiva, la marcación, es labor inherente a la actividad de la Aeronavegación y se constituye en factor decisivo y coadyuvante en la optimización de la misma.

La precisión de los datos de posición medida, se expresa normalmente en función del radio, con centro en una posición indicada, dentro del cual se tiene una confianza determinada que se encuentre la posición verdadera, caso en el cual se cumple una efectiva marcación.

**Tabla 5.** Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos.

Marcación	Precisión Tipo de datos	Resolución de la publicación	Resolución de los mapas	Clasificación de la integridad
Tramos de aerovía	1/10 GRADOS calculados	1 GRADO	1 GRADO	$1 \times 10^{-3}$ Ordinaria
Formación de puntos de referencia en ruta y de terminal	1/10 GRADOS calculados	1/10 GRADOS	1/10 GRADOS	$1 \times 10^{-3}$ Ordinaria
Tramos de ruta para llegada/salida a terminal	1/10 GRADOS calculados	1 GRADO	1 GRADO	$1 \times 10^{-3}$ Ordinaria
Formación de puntos de referencia para procedimientos de aproximación por instrumentos	1/10 GRADOS calculados	1/100 GRADOS	1/10 GRADOS	$1 \times 10^{-5}$ Esencial
Alineación del localizador ILS	1/10 GRADOS Objeto de lev.	1/100 GRADOS verdadero	1 GRADO	$1 \times 10^{-5}$ Esencial
Alineación de azimut cero del MLS	1/10 GRADOS Objeto de lev.	1/100 GRADOS verdadero	1 GRADO	$1 \times 10^{-5}$ Esencial
Marcación de la pista y FATO	1/10 GRADOS Objeto de lev.	1/100 GRADOS verdadero	1 GRADO	$1 \times 10^{-3}$ Esencial

### **3.8.5 Longitud - Distancia - Dimensión**

\* Distancia: Espacio o intervalo de lugar o de tiempo entre el plano de un meridiano Este u Oeste y el plano del meridiano de Greenwich.

\* Dimensión: Extensión de un objeto o área en una dirección determinada. Los conceptos longitud, anchura y altura tienen gran aplicabilidad en el ámbito de la actividad aeronáutica.

Estos tres conceptos convergen métricamente en el proceso de consolidación del elemento “precisión”, factor decisivo en la búsqueda y encuentro de la seguridad aeronáutica.

**Tabla 6.** Requisitos en cuanto a la calidad de los datos aeronáuticos

Longitud/Distancia/ Dimensión	Precisión Tipo de datos	Resolución de la publicación	Resolución de los mapas	Clasificación de la integridad
Longitud tramos de aerovía.	1/10 km o 1/10NM calculados	1/10 km o 1/10NM	1km o 1NM	1x10 <sup>-3</sup> Ordinario
Distancia de formación de punto de referencia en ruta y de terminal.	1/10 km o 1/10NM calculados	1/10 km o 1/10NM	2/10km (1/10NM)	1x10 <sup>-3</sup> Ordinario
Longitud de tramos en una ruta para llegada/salida a terminal.	1/100 km o 1/100NM calculados	1/100 km o 1/100NM	1km o 1NM	1x10 <sup>-5</sup> Esencial
Distancia para formación de puntos de referencia en procedimientos de terminal y de aproximación por instrumentos.	1/100 km o 1/100NM calculados	1/100 km o 1/100NM	2/10km (1/10NM)	1x10 <sup>-5</sup> Esencial
Longitud de pista y de FATO, dimensiones de la TLOF	1 m o 1 ft objeto de lev.	1m o 1ft	1m (mapa AD) 0.5m (mapa AD)	1x10 <sup>-8</sup> Crítica
Longitud de la zona de parada	1 m o 1 ft objeto de lev.	1m o 1ft	0.5m (mapa AOC)	1x10 <sup>-8</sup> Crítica
Distancia de aterrizaje disponible	1 m o 1 ft objeto de lev.	1m o 1ft	1m (mapa AD) 0.5m (mapa AOC)	1x10 <sup>-8</sup> Crítica
Distancia entre la antena del localizador ILS y el extremo de pista	3 m o 10 ftcalculados	3m o (10ft)	Según el trazado	1x10 <sup>-3</sup> Ordinaria
Distancia a lo largo del eje entre la antena de pendiente de aproximación ILS y el umbral	3 m o 10 ftcalculados	3m o (10ft)	Según el trazado	1x10 <sup>-3</sup> Ordinaria
Distancia entre las balizas ILS y el umbral	3 m o 10 ftcalculados	3m o (10ft)	2/10km (1/10NM)	1x10 <sup>-5</sup> Esencial
Distancia a lo largo del eje entre la antena del ILS y el umbral	3 m o 10 ftcalculados	3m o (10ft)	Según el trazado	1x10 <sup>-5</sup> Esencial
Distancia entre la antena de azimut MLS y el extremo de pista	3 m o 10 ftcalculados	3m o (10ft)	Según el trazado	1x10 <sup>-3</sup> Ordinaria
Distancia a lo largo del eje entre la antena de elevación MLS y el umbral	3 m o 10 ftcalculados	3m o (10ft)	Según el trazado	1x10 <sup>-3</sup> Ordinaria
Distancia entre MLS y el umbral	10 ftcalculados	3m o (10ft)	Según el trazado	1x10 <sup>-5</sup> Esencial

### 3.8.6 Precisión - Probabilidad

\* Precisión: Determinación, exactitud, puntualidad. Capacidad de cálculo, de hallazgo de un punto deseado.

\* Probabilidad: para un suceso fortuito cualquiera, relación entre el número de casos favorables y el número de casos posibles, en el supuesto de que todos los casos sean igualmente verosímiles.

\* Resolución: Acción y efecto de determinación a una solución.  
Exactitud: Cercanía de las observaciones a los valores aceptados como ciertos.

\* Integridad: Calidad de un componente que dispone de todas sus partes.

En la actividad aeronáutica la precisión se constituye en el factor deseable dadas las condiciones propias de tal actividad que exige un alto grado de seguridad en todos sus cálculos, paralelamente, es necesario que la probabilidad entre en juego en razón de ser los factores externos impredecibles en muchas oportunidades, llámense de carácter mecánico o bien de carácter meteorológico como circunstancias que en una u otra forma pueden ser vulnerables.<sup>9</sup>

**Tabla 7. Precisión y Probabilidad**

Expresión de la precisión	Probabilidad unidimensional	Probabilidad bidimensional	Probabilidad tridimensional
Tres sigma	99.7%	98.9%	97.1%
Dos sigma	95.0%	86.0%	78.8%
Un sigma	68.0%	39.3%	19.9%
Error probabilidad	50.0%	50.0%	50.0%

---

<sup>9</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL. Manual del Sistema Geodésico Mundial -1984 (WGS-84), Op. cit., p. 5 - 13.

### 3.9 METADATOS DE CONFORMIDAD 1 (Metadatos Mínimos)

Un metadato es un grupo relacionado de elementos de datos u otros elementos compuestos, donde todos los elementos compuestos están formados por elementos de datos. Son datos acerca del contenido, calidad, condición u otras características de los datos.

Este modelo de datos permite clasificar los elementos de tal manera que representan diferentes grados de detalle como: Orden Jerárquico, Temas, Grupos y Objetos, para que los usuarios de este Sistema de Información Geográfica puedan consultar y manejar la información del nivel deseado.”<sup>11</sup>

“Los metadatos geográficos permiten a un productor describir totalmente los datos geográficos de manera que los usuarios puedan entender las presunciones y limitaciones y puedan evaluar la aplicabilidad de los datos para el uso específico de su interés.

Los datos geográficos normalmente son usados por personas diferentes de quien los genera y la mayoría de ellos se utilizan en diferentes fechas por más de una persona. Tradicionalmente éstos son producidos por un individuo, o una organización, y usados por otros. Una documentación apropiada de los datos proporciona a aquellos que no están familiarizados con ellos, el entendimiento de los mismos y permite que sean usados adecuadamente.

A medida que los productores y usuarios de información geográfica manejen un número creciente de información, una documentación apropiada proporciona a todos un conocimiento claro y un mejor manejo en la producción, almacenamiento, actualización y reutilización de sus datos.

Los beneficios adicionales de esta norma de metadatos, son la facilidad en la organización, manejo y administración de datos geográficos y el conocimiento de información acerca de los datos de otras organizaciones. Esta norma para documentación de geodatos proporciona a los productores la información apropiada para que ellos caractericen sus datos geográficos y elaboren catálogos de los mismos, que faciliten su descubrimiento, recuperación y reutilización.

### 3.9.1 Contenido de un metadato

\* **Sección de identificación.** La información básica acerca del conjunto de datos que identifican las Cartas de Radionavegación se presenta a continuación y esta conformada por: Nombre de la carta, Tipo de carta, Ciudad, Aeródromo, Distribución (Tercera sección que contiene los elementos de metadatos mínimos).

Los temas de cada carta se dividen en capas, las cuales están conformadas por sus elementos y se georreferencian con coordenadas geográficas WGS-84. La Identificación incluye: Título, áreas incluidas, temas, actualidad, restricciones.

Las Tablas 8 y 9 muestran la identificación de las Cartas de Radionavegación inmersas en el proyecto.



**Tabla 8. Identificación de las Cartas I**

Identificación de Cartas de Radionavegación				
Nombre de la carta	Tipo de carta	Ciudad	Aeródromo	Distribución Entidad
Aleja 1	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín	José María Córdova	OACI
Corral 1	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín	José María Córdova	OACI
Capiro 4	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín	José María Córdova	OACI
Unión 1	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín	José María Córdova	OACI
Carmen 1	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín	José María Córdova	OACI
Renos 2	Llegada normalizada-Vuelo por instrumentos (STAR)	Medellín / Rionegro	José María Córdova	OACI
Medal 1	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín / Rionegro	José María Córdova	OACI
Felix 2	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín / Rionegro	José María Córdova	OACI
Guarne 1	Salida Normalizada-Vuelo por instrumentos(SID)	Medellín	Olaya Herrera	OACI
El Paso 1	Llegada Normalizada (STAR)	Pereira	Matecaña	OACI
Torol 1	Llegada Normalizada (STAR)	Pereira	Matecaña	OACI
Dilar 1	Llegada Normalizada (STAR)	Pereira	Matecaña	OACI
RWY09	Aproximación Visual	Manizales	La Nubia	OACI
RWY07	Aproximación por Instrumentos	Pereira	Matecaña	OACI
RWY36	Aproximación por Instrumentos	Medellín	José María Córdova	OACI
VFR RWY 01/19	Aproximación Visual	Medellín	Olaya Herrera	OACI
LA NUBIA	Aterrizaje	Manizales	La Nubia	OACI
OLAYA HERRERA	Aterrizaje	Medellín	Olaya Herrera	OACI
JOSE MARIA CORDOVA	Aterrizaje	Medellín	José María Córdova	OACI
CAATA – 2	Helipuerto	Medellín	José María Córdova	OACI
Nivel Superior	Rutas ATS	Colombia	No definido	OACI
Nivel Inferior	Rutas ATS	Colombia	No definido	OACI

**Tabla 9. Identificación de las Cartas II**

Título	Áreas incluidas	Temas (Capas)	Originador	Restricciones
Cartas de Salida	Áreas Restringidas y Obstáculos	Puntos de Notificación, Radioayudas, Rutas, Ciclos de Espera, Sentido Preferencial	OACI	Altitud de transición: 18000'
Cartas de Llegada	Áreas Restringidas y Obstáculos	Puntos de Notificación, Radioayudas, Rutas, Ciclos de Espera, Sentido Preferencial	OACI	Altitud de transición: 18000'
Cartas de Aproximación	Áreas Restringidas y Obstáculos	Puntos de Notificación, Radioayudas, Rutas, Ciclos de Espera, Sentido Preferencial	OACI	Elevación AD y Alturas: THR(Umbral) RWY(Pista)
Cartas de Aterrizaje	Área de Aterrizaje	Puntos de Notificación, Radioayudas, Rutas, Ciclos de Espera, Sentido Preferencial	OACI	Elevación ARP(Punto Referencia AD) y Alturas: THR(Umbral) RWY(Pista)
Carta de Helipuerto	Área de Aterrizaje	Puntos de Notificación, Radioayudas, Rutas, Ciclos de Espera, Sentido Preferencial	OACI	Elevación ARP(Punto Referencia AD) y Alturas: THR(Umbral) RWY(Pista)
Cartas de Rutas ATS	Áreas Restringidas, Peligrosas y Prohibidas	Puntos de Notificación, Radioayudas, Rutas, Ciclos de Espera, Sentido Preferencial	OACI	Espacio Aéreo Posición, Punto de reporte y frecuencia MHZ o Radio HF

**\* Información de las Cartas de Radionavegación:**

Información de Cita:

Originador: Organización Internacional de Aviación civil.

**\* Información de Publicación:**

Lugar de Publicación y año: Organización Internacional de la Aeronáutica Civil, Bogotá- Colombia. 2004.

\* **Sección de Calidad.** La OACI aplica unas Normas Estándares para la Publicación de Información Aeronáutica (AIP), la cual imprime una publicación de prueba, una vez revisada por la Administración Aeronáutica, se realiza la publicación definitiva. Por tal razón la calidad y veracidad de la información de las Cartas de Radionavegación son confiables.

\* **Sección de Organización de los datos espaciales.** La información del sistema que esta estructuralmente conformada por coordenadas geográficas, se encuentra definida en representaciones de Puntos (Unidimensional), Líneas (puntos sucesivos - Bidimensional) y Polígonos (Líneas sucesivas - Tridimensional), proceso de convertir a formato digital estos elementos, los cuales son clasificados según sus características con los elementos a representar.

\* **Sección de Referencia espacial.** Para este estudio se uso la cartografía bajo la Proyección Cartográfica Transversal de Mercator. Los datos geográficos se encuentran georreferenciados bajo el Sistema Geodésico Mundial WGS-84, permitiendo visualizar la información geográfica, de manera que los usuarios puedan evaluar la aplicabilidad de los datos para el uso específico de su interés.

\* **Sección de Distribución.** Teniendo en cuenta y haciendo un estudio preliminar muy a fondo de la falta de medios informáticos para la utilización de las Cartas de Radionavegación en tiempo y coordenadas reales, hemos llegado a la conclusión de que es necesario mejorar y agilizar las funciones generales de aeronavegación.

Para llevar a cabo el SIG, se creó una Base de Datos en Access 97 donde se registró la información real de las coordenadas geográficas relacionadas a todas las cartas. La digitalización fue desarrollada bajo el software de Autocad v.14, mediante Sistema de coordenadas (x,y,z). La programación de los scripts (código fuente de programación) ha sido desarrollada en Avenue. Dicho programa es la plataforma o motor ejecutable de los scripts y su aplicación ha sido elaborada directamente sobre el SIG ArcView, donde se tomaron en cuenta los siguientes puntos: Presentación principal, niveles de usuario, seguridad del sistema mediante contraseñas para cada usuario, edición actualización y creación de nuevos puntos de localización, consultas, visualizaciones de la información y otras funciones las cuales se describen en el Manual de Usuario.

\* **Sección de citación.** La información de referencia citada en el conjunto de datos es el Manual de normas, rutas y procedimientos ATS (Servicio de Transito Aéreo) de la República de Colombia.

\* **Sección de Contacto.** Los medios para comunicarse con personas y organizaciones asociadas con el conjunto de datos es: [www.aerocivil.gov.co](http://www.aerocivil.gov.co).”<sup>12</sup>

**3.9.2 Clasificación de los elementos.** Las Tablas 10 y 11 muestra un ejemplo de atributos mínimos de las Cartas de Radionavegación

**Tabla 10.** Atributos mínimos

CAMPO	TIPO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN	Atributo
Áreas Restringidas	Alfanumérico	10	Área en metros	Polígonos
Rutas ATS	Alfanumérico	8	Distancia en Millas Nauticas	Líneas
Radioayudas (Frecuencia)	Numérico	10	Frecuencia en Mhz	Puntos
Puntos de Notificación (Posición)	Numérico	12	Coordenadas Geograficas	Puntos
Radioayudas (Posición)	Numérico	12	Coordenadas Geograficas	Puntos
Ciclos de Espera	Numérico	12	Radial y Rumbo	Puntos

**Tabla 11. Ejemplo**

<b>CAMPO</b>	<b>ATRIBUTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Área Restringida	SK (R) - 10	Área en metros
Ruta ATS	W - 37	Designador de Ruta
Radioayuda	VOR – DME 112.9	Nombre de RadioayudaY Radiofrecuencia
Punto de Notificación	N 06° 16' 57" – w 67° 51' 37"	Coordenadas: Grados,Min, y Seg
Radioayuda	N 05° 37' 1" – W 67° 36' 5"	Coordenadas: Grados,Min, y Seg
Ciclo de Espera	063° - 243°	Radial y Rumbo en Grados

### 3.10 INFORMACIÓN AERONÁUTICA

**3.10.1 Sistemas usados en pista.** La Figura 4 muestra una serie de imágenes donde se reflejan claramente algunos de los sistemas usados en pista

**Figura 4.** Infraestructura de Aeropuertos



**Fuente:**

[http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia\\_aviacion/tema13.html](http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia_aviacion/tema13.html)

**[3.10.2] Meteorología.** La METEOROLOGÍA es una ciencia natural que estudia el comportamiento de la envoltura gaseosa que cubre la tierra y la acompaña en su movimiento de rotación, ella se denomina atmósfera y esta pegada a la misma debido a la acción de la fuerza de gravedad. Cualquier aeronave esta diseñada para ejercer sustentación sobre el aire, y si la meteorología estudia el comportamiento del aire, tendrá entonces una estrecha relación con el vuelo en sí.

Es por ello que la meteorología se encarga de estudiar y proporcionar información sobre cuestiones relacionadas con las bandas de frecuencias radioeléctricas utilizadas para las actividades meteorológicas como las ayudas meteorológicas (radiosondas), los satélites meteorológicos, los radares meteorológicos, los radares de perfil del viento, los sistemas de teledetección desde vehículos espaciales.

La meteorología es pues una ciencia que se aplica en la industria aeronáutica por ende los aeropuertos cuenta con infraestructura basada en las condiciones y categorías de los mismos.

El aeropuerto es la infraestructura del transporte aéreo donde comienza y termina el vuelo, en el se encuentran un gran numero de edificios, instalaciones y equipos que permiten el aterrizaje, despegue y movimiento en tierra de la aeronaves.

**[3.10.3] Ayudas Visuales.** Ejemplo claro de ayudas visuales son el sistema general de luces aeronáuticas de superficie de un aeropuerto puede dividirse en varios subsistemas principales:

- Iluminación de aproximación.
- Indicador de pendiente.
- Luces de pista de vuelo.
- Luces de calle de rodaje.

El sistema de iluminación de aproximación es un sistema luminoso cuya misión es facilitar la operación de aproximación de una aeronave a la pista, especialmente cuando las condiciones de visibilidad son limitadas

#### **[3.10.4] Ayudas Electrónicas**

\* RADAR (Radio detection and ranging).

A partir de la segundo guerra mundial se empezaron a desarrollar equipos para medir con gran precisión la dirección y distancia a un objeto reflectante (aeronave) incluso en la más completa oscuridad o sin visibilidad alguna, lo que hizo del radar un sistema altamente valorado.

\* Sistema VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range).

El VOR es el sistema de navegación radioeléctrica mas preciso y utilizado en todo el mundo en navegación primaria para las salidas, en ruta y aproximación.

\* Sistema DME (Distance Measuring Equipment).

Sistema electrónico que mide la distancia oblicua directa entre el avión y la ayuda situada en tierra.

\* Sistema GPS (Global Positioning System).

El llamado GPS es el sistema mundial de posicionamiento por medio de satélites. Es un sistema de medición en un solo sentido, basado en la alta estabilidad de la frecuencia del oscilador en el transmisor situado en el satélite.

\* Sistema ILS (Instrumental Landing System).

El término ILS quizá no sea el más apropiado dado que normalmente no permite efectuar aterrizajes con la sola ayuda de instrumentos sino constituye un medio para efectuar aproximaciones con un techo y visibilidad menores que las Standard.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Giraldo, Juan. Web de historia de la aviación. Las infraestructuras para la aviación aérea. [En línea]. Madrid. 2005. Inicio>Contenido>Las Infraestructuras para la navegación aérea. Disponible en: [http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia\\_aviacion/tema13.html](http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia_aviacion/tema13.html)



#### 4. METODOLOGÍA

Mediante visitas efectuadas al Aeropuerto La Nubia de Manizales, se pudieron obtener datos relevantes para los efectos que persigue este proyecto de desarrollo. Informes obtenidos por parte del Controlador de Tránsito Aéreo, permitieron condensar datos acerca de las necesidades y/o problemas, fortalezas y/o debilidades de la labor cotidiana de los pilotos: obsoleto sistema de información, necesidad de implementar sistemas informáticos acordes con los avances y necesidades de la actividad aeronáutica, disponer en forma ágil de requisitos en cuanto a precisión (datos aeronáuticos evaluados y datos aeronáuticos de referencia), disponibilidad de información para el levantamiento topográfico de posiciones geográficas de las ayudas para la navegación, referencias geodésicas para las coordenadas de los elementos de navegación, aspectos de seguridad en el levantamiento topográfico, revisar la transferencia de los datos desde un formulario escrito o impreso hacia un formato digital ya que se constituye en la principal fuente posible de errores en el proceso, deficiente manipulación de datos, todo ello para converger con la inminente necesidad de disponer de esquemas de Cartas Aeronáuticas en forma ágil y eficiente. “Dentro de la aeronáutica civil en Colombia existe el ANP (Plan de navegación aérea), el cual expone las instalaciones, servicios y procedimientos necesarios para la navegación aérea internacional. Este plan contiene recomendaciones que el Gobierno puede seguir al programar la dotación de sus instalaciones y servicios de navegación aérea, normas y procedimientos del servicio de tránsito aéreo, con la seguridad de que las instalaciones y servicios previstos de conformidad con el plan, formarán con los de los demás estados un sistema integral apropiado para el futuro previsible de la aeronáutica.

De acuerdo con el estudio de éste proyecto de desarrollo, el tipo de investigación aplicada a las estrategias metodológicas ha sido de componente descriptivo, geodésico, cartográfico y tecnológico, apartes de disciplinas y variables que se incluyen dentro de los propósitos aeronáuticos que contempla la gestión de tránsito aéreo, todas éstas implementadas en un Sistema de Información Geográfica.

WGS-84 (World Geodetic System-1984) es el punto de referencia tomado para el servicio de información cartográfica y geográfica para este proyecto, con el fin de obtener las coordenadas de las aerovías y/o rutas de tránsito aéreo en Colombia, georeferenciando la información correspondiente al tránsito aéreo del país, además de coordenadas de radioayudas, puntos de notificación y áreas restringidas entre otras.

Las coordenadas WGS-84 presentan un nivel de precisión determinado directamente por la posición de un punto medio en un satélite, esto hace que tanto los parámetros primarios (semi-eje principal, achatamiento, velocidad angular, constante gravitacional geocéntrica y coeficiente de potencial gravitacional normalizado) como los secundarios (Modelo del campo de gravedad de la tierra) definan las coordenadas de un punto de referencia con más precisión.

La realización de este sistema se define mediante coordenadas X, Y, Z que respectivamente representan latitud geodésica, longitud geodésica y altura elipsoidal tomando en cuenta el centro de masa de la tierra y el meridiano cero definido por la BIH (Oficina Internacional de la Hora).<sup>11</sup>

Las cartas de radionavegación son usadas en la aeronáutica para la gestión de tránsito aéreo. Según una previa evaluación para este caso de estudio, se tomaron en cuenta muestras de cartas de radionavegación de determinadas ciudades del país (Véase Metadatos).

Para este sistema se aplicó la Proyección Transversal de Mercator (proyección elipsoidal) porque las Cartas de Radionavegación de nuestro país (Colombia) están desarrolladas en proyección conforme y no se disponía de otras herramientas para su conversión; además en la construcción de las cartas a mediana y gran escala casi exclusivamente se utilizan proyecciones conformes porque son aquellas que conservan los ángulos y esta proyección es conforme y actualmente es la adoptada por la mayoría de los países del mundo.

---

<sup>11</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL. Manual del Sistema Geodésico Mundial -1984 (WGS-84), Op. cit., p. 5 - 13.

**4.1 Fase 1: Diagnóstico.** El diagnóstico está orientado al almacenamiento de la información generada en el trabajo de campo y los temas relacionados a las cartas están clasificados en capas como se mencionó anteriormente. Como el SIG es un conjunto de componentes ensamblados en un mismo sistema, existe un formato definido para la presentación de los datos resultantes, de forma que se puede ofrecer una interfaz gráfica adecuada para insertar la toda la información y unificar criterios para un análisis mejor que apoye la toma de decisiones.

Este proyecto propone una nueva forma de operar (Insertar, actualizar, modificar y eliminar) y consultar las Cartas de Radionavegación para los Pilotos (operaciones de vuelo) y los Controladores de Tránsito Aéreo (Consultas aeronáuticas de tipo informativo), de forma que atendiendo a esta problemática se implementa este SIG con propósitos aeronáuticos el cual permite manejar datos espaciales reales incluidos en las Cartas de Radionavegación.

Al ingresar información a la Base de Datos, se hallaron coordenadas geográficas no definidas presentando vacíos de información, para lo cual es imposible determinar dichos datos. La validación de otros datos no definidos como las distancias por tramos, fueron calculadas matemáticamente según la fórmula de Pitágoras, hallando cateto opuesto, cateto adyacente o hipotenusa según el caso.

Es de aclarar que estos resultados debidamente calculados pueden representar valores apropiados a la realidad.

El método para el diagnóstico de división del proyecto se hizo en seis subproyectos (aerosig-ad\_a.apr, aerosig-aproximacion\_a.apr, aerosig-llegada\_a.apr, aerosig-rutasats\_a.apr, aerosig-salida\_a.apr, aerosig.apr ). Es de aclarar que tal subdivisión se hizo para cada usuario y se diferencian por la letra inicial de cada usuario, así:

Administrador:

aerosig-ad\_a.apr, aerosig-aproximacion\_a.apr, aerosig-llegada\_a.apr, aerosig-rutasats\_a.apr, aerosig-salida\_a.apr, aerosig.apr

Piloto:

aerosig-ad\_p.apr, aerosig-aproximacion\_p.apr, aerosig-llegada\_p.apr, aerosig-rutasats\_p.apr, aerosig-salida\_p.apr

Controlador de Tránsito Aéreo:

aerosig-ad\_c.apr, aerosig-aproximacion\_c.apr, aerosig-llegada\_c.apr, aerosig-rutasats\_c.apr, aerosig-salida\_c.apr

Tal procedimiento se llevó a cabo porque todo el proyecto ensamblado en uno solo, generaba procesos de compilación y ejecución muy lentos. En el proyecto aerosig.apr se creó la presentación principal de Aerosig, la cual se muestra en la Figura 5, donde se crearon los niveles de usuario y se generaron tres tipos de contraseñas para cada uno con el fin de hacer más seguro el sistema.

**Figura 5.** Formulario de Presentación Principal



La Figura 5 muestra cada Botón (Entrada Administrador, Entrada Piloto, Entrada Controlador de Tránsito Aéreo), que a su vez tiene asignado una contraseña y unos permisos de ejecución que varían según el nivel del usuario final.

**Figura 6.** Ventana de contraseñas para Acceso



En la anterior Figura 6 aparece una ventana que corresponde al ingreso de las contraseñas asignadas a los diferentes niveles de usuario así:

Usuario Administrador: 2404464

Usuario Piloto: 2570480

Usuario Controlador de Tránsito Aéreo: 2726406

Todas las claves varían según el número serial de licencia del propietario del ArcView y se asignan a cada usuario mediante código fuente (Script).

El método para el diagnóstico de la actividad Aeronáutica propuesta consiste en la creación o eliminación, actualización y modificación de Rutas ATS, Puntos de Notificación, Radioayudas y Ciclos de Espera, Áreas Restringidas, Peligrosas y Prohibidas, desarrollando un conjunto de menús, para la manipulación y ejecución de todo el sistema, el cual se presenta claramente en el Anexo 7.

La Figura 7 presenta el formulario de entrada que se aplica de igual forma para cada una de las demás entradas a los subproyectos, los cuales se dividen según el tipo de carta a consultar.

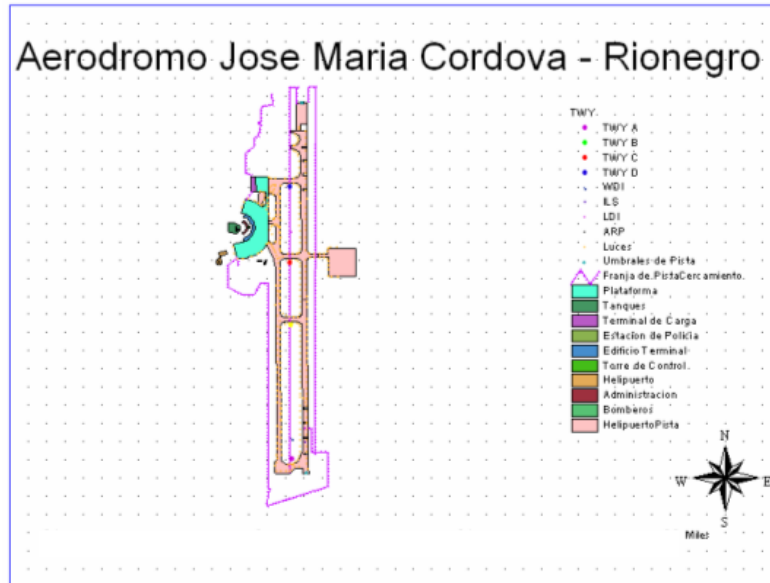
**Figura 7.** Formulario de entrada a Cartas de Aproximación



Las cartas incluyen la región que el piloto como función de vuelo debe atravesar, además del punto de partida, punto de llegada y el terreno con toda su composición de coordenadas, latitudes, longitudes y obstáculos que lo comprenden, rutas ATS, Puntos de Notificación, Radioayudas. La siguiente vista es un claro ejemplo de resultado del SIG aeronáutico. En la parte derecha se aprecia un esquema de lo que realiza el sistema en cada uno de sus temas (Puntos de Notificación, Radioayudas, Rutas ATS, etc), combinando para cada capa de presentación las diferentes coordenadas geográficas y puntos de posición de una Carta de Radionavegación, evaluándolas integralmente.

Las Figuras 8 y 9 muestran un ejemplo de La aplicación AEROSIG con respecto a Cartas de Aeródromo

**Figura 8.** Carta Aeronáutica de Aeródromo José Maria Córdova



**Figura 9.** Aeropuerto José María Córdova de Rionegro



**Fuente:** <http://www.aerocivil.gov.co/Aeropuertos/Rionegro/index.htm>

<sup>18</sup> AERONÁUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Aeropuertos. [En línea]. Bogotá. 2006. Aeropuertos>Rionegro. Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/Aeropuertos/Rionegro/index.htm>

**4.2 Fase 2: Análisis y Diseño.** Esta segunda fase trata de obtener datos de estructuración que puedan ser soporte de utilidad en el diseño de un SIG del cual precisa Colombia y que está en proceso de adquisición. Dentro de esta fase se pretende una adecuada interiorización de los fundamentos que caracterizan las Cartas Aeronáuticas, por tal razón se utilizó el lenguaje de modelamiento unificado (UML), lenguaje de modelado que permite la representación conceptual y física de un sistema, el cual está constituido por unos bloques de construcción compuestos por elementos, relaciones y diagramas (clases, objetos, casos de uso, secuencia, colaboración, estados, actividades, componentes, despliegue) que ilustran el ciclo de vida del sistema, su comportamiento, funciones que realiza y a lo que puede tener acceso el usuario final (Administrador, Piloto, Controlador de Tránsito Aéreo) dependiendo de su nivel jerárquico y los permisos de ejecución que tenga para desarrollar una tarea específica.

Para la realización de cada diagrama, fue necesario recopilar toda la información relacionada a las Cartas de Radionavegación y las áreas que intervienen en el proceso de la aeronavegación. El Análisis y Diseño del sistema se presenta en el Anexo 1.

Con respecto a la recolección de la información, se llevaron a cabo entrevistas con especialistas de las áreas anteriormente descritas, se analizó y estudió que el manejo actual que se hace de la información no es el más adecuado, obsoleto y no arroja los resultados de una manera eficiente y rápida, teniendo en cuenta que este uso manual de las Cartas de Radionavegación, con el tiempo llegan a deteriorarse no siendo legible su visualización. Ante este problema y como es de suponer, un sistema tiende a mejorar esta necesidad y facilitar las actividades de consulta y visualización rápida, que realizan los Pilotos y Controladores de Tránsito Aéreo.

**4.3 Fase 3: Desarrollo.** Se seleccionaron algunas Cartas Aeronáuticas para éste proyecto, se integró la información disponible y se procedió a su respectiva implementación mediante soportes de digitalización y programación. Es de aclarar que se exponen algunos ejemplos porque no se dispone de toda la información para Colombia.

Esta etapa es fundamental, en donde se definieron tablas y atributos requeridos para almacenar los datos intrínsecos de las cartas de radionavegación. Además se tomaron en cuenta algunos factores de ingeniería de software para evaluar la calidad del sistema.

Esta etapa fue de importancia dado que se manejó el SIG, conociendo de ArcView su entorno y funcionalidad para efectuar labores concernientes al desarrollo de la aplicación.

En ArcView todas las tareas y/o actividades se ubican en un proyecto, el cual esta constituido por diferentes documentos como Views (Vistas), Tables (Tablas), Charts (Diagramas estadísticos), Layouts (Presentaciones de salida) y Scripts (programas); la información que integra un proyecto se almacena en un archivo con extensión .apr.

En esta herramienta se pueden editar mapas, crear y editar datos, soporta Access, Dbase, Avenue, AutoCad, genera shapefiles de los temas de puntos y polígonos, enlaza información a través de una opción con el fin de visualizar los datos asociados a los temas que se encuentran en las vistas.

**4.4 Fase 4: Implementación.** En esta fase se seleccionaron algunas Cartas Aeronáuticas y se implementaron en la aplicación.

En la etapa de incorporación de las cartas en el SIG, inicialmente se eligieron y fueron debidamente digitalizadas en AutoCad, programa que posee una gama de técnicas para mapas, planos arquitectónicos e imágenes en 3D, contiene una serie de interfaces y elementos de diferentes componentes para la creación y digitalización de un mapa relacionando funciones atinentes a los datos.

Se aplicó sistema vectorial con uso de coordenadas (x,y,z) y se plasmó con Mouse óptico cada uno de los componentes de las cartas, dividiendo cada componente en una diferente capa. Por último se exportaron a formato dxf y Posteriormente se exportaron y fueron convertidas en archivos shapefile(archivo estándar para almacenar y convertir el formato dxf) en ArcView, paso requerido para enlazarlas con las tablas de la base de datos desarrollada en Access 97.

El Software ArcView presentó inconvenientes, aunque inicialmente se había planteado la realización del SIG con el software no propietario Spring, se pasó a ArcView 3.2 pero con algunos problemas y diferencias de soporte, a los cuáles se les hará mención más adelante. ArcView cuenta con la herramienta AVENUE en la cual se crean los scripts (código fuente de programación), la Base de Datos fue creada en Access 97 (compatible para otras versiones más avanzadas) y la digitalización de las cartas en Autocad V 14. Seguidamente se conectó la base de datos con ArcView, relacionando entre sí los atributos de las Cartas Aeronáuticas con la Base de Datos.



\* Ventajas y desventajas de ArcView GIS 3.2:

- Con respecto a software no propietario, la aplicación desarrollada funciona bajo licencia de ArcView 3.2, la cual contiene una clave física con número serial y mediante este soporte se le asignan las claves a los usuarios.
- En cuanto a la portabilidad, una aplicación desarrollada en ArcView necesita que se tenga instalado este mismo, además de Access, para mostrar la información espacial.
- Las funciones que se pueden incluir en la aplicación para el manejo de información georreferenciada, ArcView cuenta con una gran cantidad de funciones y herramientas diseñadas para el manejo de este tipo de información.
- Es un software que soporta el manejo de componentes espaciales.
- ArcView es una herramienta muy versátil, amigable, contiene creación de reportes estadísticos difundidos en la Base de Datos del SIG.
- El programa ArcView es bastante utilizado en empresas y Universidades que manejan información geográfica. Además puede ser fácilmente adquirido por instituciones solventes económicamente (Entidades Privadas, Aeronáutica).
- Es de aclarar que ArcView no es un desarrollador de software sino una herramienta GIS, por tal razón algunas aplicaciones gráficas de su entorno, no suelen ser en diseños tan innovadores y con efectos.

## **5. NIVEL DE SEGURIDAD DEL SIG**

Se programó una interfaz gráfica debidamente verificada, adecuada, sencilla y amable para la fácil manipulación de los usuarios.

Los menús del sistema, presentan unas características particulares que varían según las restricciones de los permisos admitidos o denegados a los usuarios finales. Esto permite que el nivel de seguridad sea eficaz y que el SIG solo permita el acceso a personal administrativo y usuarios involucrados a cada nivel. Además se cuenta con un tipo de contraseña diferente para el Administrador, Piloto y Controlador de Tránsito Aéreo, la cual cambia según el número serial de clave física correspondiente a la licencia de ArcView GIS 3.2, de forma que ninguna entidad o corporación que lo adquiera tendrá una contraseña igual, ya que ésta se asigna mediante un código de programación.

Las restricciones y permisos para cada usuario se presentan en los manuales de usuario Anexo 7, 8 y 9.

## 6. RESULTADOS

El aplicativo es un Sistema de Información Geográfica con propósitos aeronáuticos para Colombia. Está distribuido en tres módulos, pero es de aclarar que la aplicación esta ensamblada en un solo paquete y su entrada de acceso se consigue mediante contraseña:

- Módulo Uno: Base de datos en Access 97 (soporta versiones más avanzadas) que incorpora todo el diseño propiamente analizado, con información de las cartas de radionavegación, tales como: rutas ATS, rosa de los vientos, ciclos de espera, obstáculos, áreas restringidas, radioayudas, aeródromos, puntos de notificación y ayudas, además de formularios y consultas asociadas a las tablas.
- Módulo Dos. Proceso de importación de las cartas de radionavegación en Autocad V.14 mediante trazado vectorial para extraer los datos de las mismas.
- Módulo tres: Proceso de importación de la base de datos y de las cartas a ArcView, además el desarrollo del enlace entre las cartas y la base de datos y la personalización del entorno gráfico.

Teniendo toda la información integrada, se puede usar el SIG desarrollado como una herramienta eficaz para la gestión de consultas de radionavegación.

El desarrollo del Sistema de Información Geográfica propuesto en este proyecto, permite integrar, validar, actualizar y agregar nueva información geográfica, que con el tiempo puede ir variando e incrementando.

Para la verificación de funcionamiento adecuado del SIG, se ingresaron los datos de las cartas a las diferentes tablas arrojadas por el análisis y Diseño de la Base de Datos, cuyas fechas de impresión real son del año 2004. Algunos valores correspondientes a coordenadas geográficas no están definidos y otra información esta calculada matemáticamente (Distancias).

## 7. CONCLUSIONES

- ArcView es una herramienta de gran soporte para el análisis y la toma de decisiones, apoya a la gestión de actividades administrativas, relacionadas al proceso de ejecución de vuelos por parte de los pilotos.
- En el SIG se generó la visualización gráfica de información aeronáutica correspondiente a las coordenadas reales de las Cartas de Radionavegación.
- El SIG permite la creación y ejecución de consultas de la Base de Datos de manera amigable y amable para el usuario, además facilita la obtención de información requerida para la creación de informes.
- Una de las características importantes del sistema es que permite la generación de gráficos estadísticos con información seleccionada en el mapa, generando una fuente de ayuda para la toma de decisiones.
- El aplicativo desarrollado puede ser manipulado solamente por personal autorizado que forme parte de la administración de la aeronáutica.
- Se desarrolló un SIG como instrumento de apoyo para la ejecución de un vuelo basado en consultas visuales, integrando diferentes disciplinas como geodesia, cartografía, geografía y tecnología, permitiendo evaluar la información espacial y georreferenciada.
- El SIG desarrollado contiene varios módulos y cada uno cumple con una función específica: Base de datos en Access 97 que incorpora todo el diseño propiamente analizado, Proceso de importación de las cartas de radionavegación en Autocad V.14 mediante trazado vectorial para extraer los datos de las mismas, Proceso de importación de la base de datos y de las cartas a ArcView, además el desarrollo del enlace entre las cartas y la base de datos y la personalización del entorno gráfico.
- El SIG puede ser adecuado de acuerdo a las necesidades propias de aeronavegación, en cuanto a la actualización e ingreso de nueva información relacionada a coordenadas geográficas y estructuración de nuevos mapas, incluyendo ediciones de los mismos.
- Los mapas generados en ArcView, pueden ser mejorados fácilmente y no se necesita de un amplio conocimiento de programación de los objetos, debido a que las funciones pueden ser realizadas con la utilización de los botones y opciones de los menús que vienen incluidas en el programa.

- Es un buen aporte a la evolución tecnológica en el área de la aeronáutica, consiguiendo una mejorada presentación de las cartas de radionavegación.
- El desarrollo de la aplicación es de gran complemento a las consultas que realizan los pilotos y/o controladores de tránsito aéreo a las cartas de radionavegación para su desempeño laboral.
- Con esta aplicación se demuestra la posibilidad de desarrollar un SIG en ArcView (3.2) con Access 97 y Autocad (V.14) para el caso específico de estudio pensando en evitar el deterioro y pérdida de lo plasmado en papel.
- El aplicativo es un prototipo que contiene veintitrés cartas de radionavegación de las diferentes fases de vuelo con todos los datos pertinentes a las mismas. A largo plazo este proyecto puede ser una herramienta de consulta muy poderosa.
- Los enlaces (join) de la aplicación hacen lenta la apertura de la misma por ende se manejaron varios .apr, específicamente para las cartas de salida, llegada, nivel superior e inferior, aproximación y de aterrizaje, además de la presentación principal donde aparecen los 3 niveles de usuario.
- ArcView como herramienta de diseño es muy limitada por ende la interfaz de usuario es sencilla y no innovadora.
- Al trabajar con ArcView, se encontraron dificultades con respecto al desarrollo de algunos procedimientos, de igual manera se aportaron soluciones que permitieran continuar con el proceso de desarrollo e implementación.

## 8. RECOMENDACIONES

Según resultados del aplicativo se recomienda a los controladores de tránsito aéreo y/o pilotos que utilicen el “Sistema de Información geográfica con propósitos aeronáuticos para Colombia” como aporte a su trabajo lo siguiente:

La aplicación desarrollada maneja algunos tipos de carta para cada fase de vuelo:

Fase 1: Rodaje desde el puesto de estacionamiento de aeronave hasta el punto de despegue. Corresponden las cartas de Aeródromo: José María Córdova - Medellín, La Nubia - Manizales y Matecaña - Pereira.

Fase 2: Despegue y ascenso hasta la estructura de rutas ATS en ruta. Corresponden las cartas de Salida: Corral 1, Unión 1, Carmen 1, Capiro 4, Aleja 1 – Medellín.

Fase 3: Estructura de rutas ATS en ruta. Corresponden las cartas de Nivel superior e inferior (Sectores Norte y Sur) – Colombia.

Fase 4: Descenso hasta la aproximación. Corresponden las cartas de llegada: Félix 2, Medal 1, Renos 2 - Medellín/Río Negro, Torol 1, Diral 1, El Paso 1 – Pereira.

Fase 5: Aproximación para aterrizar y aproximación frustrada. Corresponden las cartas de aproximación: RWY09 - Manizales, RWY07 – Pereira, RWY36 – Río-negro.

Fase 6: Aterrizaje y rodaje hasta el puesto de estacionamiento de aeronave. Corresponden las cartas de Aeródromo: José María Córdova - Medellín, La Nubia - Manizales y Matecaña - Pereira.

En Colombia, cada aeródromo existente tiene determinado número de cartas de radionavegación para cada fase de vuelo, dependiendo del nivel de su categoría; por esta razón este SIG puede ser ampliado y actualizado a través del tiempo.

- La aplicación funciona en ArcView 3.2 para Windows 98/XP pero puede adecuarse a otro software y plataformas que implementen SIG`s.
- Los nombres de las tablas en ArcView deben ser los mismos de la BD para que cada vez que se realicen modificaciones en la BD se actualicen los cambios en la aplicación.
- El SIG no presenta un nivel requerido para trabajar en red, con la salvedad de que en futuras versiones de actualización se tenga implementado este proceso.
- La base de Datos esta creada en Access 97 y se puede importar para versiones más avanzadas, lo cual puede presentar un mayor rendimiento.
- La aplicación presenta ciertos tiempos de espera para la entrada al sistema, dada la cantidad de información que debe procesar al momento de cargarla completamente. Se recomienda que se corra tal aplicación en computadores que presenten buena capacidad de procesamiento y memoria, ya que por lo contrario, su rendimiento es menos óptimo.
- ArcView es una herramienta con grandes ventajas en la realización de funciones referentes a la información geográfica y la superposición de áreas. Esta versión presenta algunos momentos de inestabilidad, provocando que el buen nivel de rendimiento disminuya. Una de las posibles soluciones a tal deficiencia es actualizar la versión de dicha herramienta cada vez que haya una nueva versión disponible y el hardware del computador atienda tal proceso.
- La información existente y la que se genere en un futuro debe ser eficazmente referenciada para que futuros desarrolladores puedan interpretarla y analizarla.

## BIBLIOGRAFÍA

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Reglamento Aeronáutico de Colombia - RAC. (Parte Primera - Definiciones). [En línea]. Bogotá. (Marzo, 2005). Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/RAC/Parte1/PARTE%20PRIMERA.pdf>. p. 83.

\_\_\_\_\_. (Parte Segunda - Personal Aeronáutico). [En línea]. Bogotá. (Marzo, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/RAC/Parte2/PARTE%20SEGUNDA\\_1.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/RAC/Parte2/PARTE%20SEGUNDA_1.pdf). p. 378.

\_\_\_\_\_. (Parte Tercera – Actividades Aéreas Civiles). [En línea]. (Marzo, 2005). Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/RAC/Parte3/PARTE%20TERCERA.pdf>. p. 106.

\_\_\_\_\_. (Parte Sexta – Aeródromos e instalaciones). [En línea]. Bogotá. (Marzo, 2005). Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/RAC/Parte6/PARTE%20SEXTA.pdf>. p. 234.

\_\_\_\_\_. Boletín de información previa al vuelo -PIB. (Aeródromos controlados). [En línea]. Bogotá. (Marzo, 2005). Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/AIS/PIB/AD/NAL/CONTROL/index.htm>.

\_\_\_\_\_. Boletín de información previa al vuelo - PIB. (Aeródromos no controlados). [En línea]. Bogotá. (Marzo, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/PIB/AD/NAL/NO\\_CONTROL/index\\_nocontrol.htm](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/PIB/AD/NAL/NO_CONTROL/index_nocontrol.htm).

\_\_\_\_\_. Boletín de información previa al vuelo - PIB. (Helipuertos). [En línea]. Bogotá. (Noviembre, 2005). Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/AIS/PIB/AD/HEL/index.htm>.



AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Plan de información aérea - AIP. (Cartas Aeronáuticas). [En línea]. Bogotá. (Marzo, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN\\_3.2-1\\_3.2-2.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN_3.2-1_3.2-2.pdf).

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Plan de información aérea - AIP. (Cartas Aeronáuticas), 2001. [En línea]. Bogotá. (Noviembre, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN\\_3.2-4\\_3.2-8.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN_3.2-4_3.2-8.pdf).

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Plan de información aérea - AIP. (Lista de cartas aéreas disponibles). [En línea]. Bogotá. (Noviembre, 2005); Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN\\_3.2-3\\_3.2-9.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN_3.2-3_3.2-9.pdf).

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Plan de información aérea - AIP. (Abreviaturas usadas en las publicaciones AIS (Servicio de información aérea)). [En línea]. Bogotá. (Noviembre, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN\\_2.2-1\\_2.2-12.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Generalidades/GEN_2.2-1_2.2-12.pdf).

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Plan de información aérea - AIP. (Radioayudas para la navegación). [En línea]. (Noviembre, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR\\_4.1-1\\_4.1-5.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR_4.1-1_4.1-5.pdf).

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Plan de información aérea - AIP. (Planificación de los vuelos). [En línea]. (Noviembre, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR\\_1.10-1\\_1.10-5.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR_1.10-1_1.10-5.pdf).

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Plan de información aérea - AIP. (Puntos de notificación). [En línea]. (Noviembre, 2005). Disponible en: [http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR\\_4.3-1\\_4.3-5.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR_4.3-1_4.3-5.pdf).  
[http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR\\_4.3-2\\_4.3-6.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/AIS/AIP/Enruta/ENR_4.3-2_4.3-6.pdf).

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Control de Área - ACC. (Navegación Aérea). [En línea]. (Octubre, 2005). Disponible en: [www.aerocivil.gov.co](http://www.aerocivil.gov.co)

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Control de Área - ACC. (Sistemas CNS/ATM). [En línea]. Bogotá. (Octubre, 2005). Disponible en: [www.aerocivil.gov.co](http://www.aerocivil.gov.co)

ASOCIACION RED COLOMBIANA DE RESERVAS NATURALES DE LA SOCIEDAD CIVIL. CALI. COLOMBIA: El SIG una herramienta de manejo y análisis de información para la red. Cali (Colombia). La Asociación. 2004; p. 14.

BURGOS DE ORTIZ, Myriam. Guía para la presentación de trabajos de grado. [En línea]. (Octubre, 2005). Disponible en: [http://www.usb.edu.co/facultades/administracion/publicaciones/Guia\\_presentacion\\_proyectos\\_Administracion.pdf](http://www.usb.edu.co/facultades/administracion/publicaciones/Guia_presentacion_proyectos_Administracion.pdf)

CORBASÍ ORTÍN, Ángel. Sistemas de Navegación. Madrid. McGraw-Hill, 1998; p. 296.

CASTRO, L. Avenue. [En línea]. Canadá (Septiembre, 2004) Disponible en: [http://www.ieg.csic.es/age/metodos/docs/doc2\\_28.pdf](http://www.ieg.csic.es/age/metodos/docs/doc2_28.pdf)

GALLARDO, M. Sistema de Información Geográfica. [En línea]. Colombia (Agosto, 2005). Disponible en : [http://www.aepro.com/congreso\\_03/pdf/gallardo@tec.uji.es\\_f811cd2327119a2990ca7e9b8f678c85.pdf](http://www.aepro.com/congreso_03/pdf/gallardo@tec.uji.es_f811cd2327119a2990ca7e9b8f678c85.pdf)

GIRALDO RENDON, Juan Pablo. Ingeniería del software: Una aproximación a la medición de la calidad. Universidad de Manizales. 2003.

GANZ, L. La meteorología y el vuelo. [En línea]. Bogotá (Marzo, 2005). Disponible en: <http://www.hangar57.com/La%20meteorologia%20y%20el%20vuelo.htm>

ESRI. Using Avenue – Customization and Application Development for ArcView. Redlands. (California, EE.UU.), Environmental Systems Research Institute, Inc. 1996.

ESRI. Avenue. Using Avenue. New York, 1996.

FALLAS, Jorge. Proyecciones y Datum. [En línea]. Bogotá (Abril, 2005). Disponible en: [http://www.icomvis.una.ac.cr/telesig/pdf/proyeccion\\_datum\\_teoría.pdf](http://www.icomvis.una.ac.cr/telesig/pdf/proyeccion_datum_teoría.pdf), 2003.

FUNDACIÓN IDR. Programa ECOATLAS: Curso “Introducción a Arcview 3.2”. 2005.

GIRALDO, J. GONZALES, E. RAMOS N, y I. OLASAGASTI Z, I. La infraestructura para la navegación aérea. [En línea]. Bogotá. (Marzo,2005). Disponible en: [http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia\\_aviacion/tema13.html](http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia_aviacion/tema13.html)

GANZ, L. La meteorología y el vuelo. [En línea]. (Abril,2004)Disponible en: <http://www.hangar57.com/La%20meteorología%20y%20el%20vuelo.htm>

INPE. Características de un SIG. Brasil, 2000. [En línea]. (Junio, 2005). Disponible en: [http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario\\_spa/geoproc.htm#carac\\_sig](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario_spa/geoproc.htm#carac_sig)

INPE. “Geoprocesamiento”. [en línea]. Disponible en: Brasil, 2000. dpi.inpe.br: SPRING DPI/INPE.[En línea]. (Junio, 2005). Disponible en: [http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario\\_spa/geoproc.htm](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario_spa/geoproc.htm)

ILIAN, Augusto. Glosario de Términos Y Acrónimos Aeronáuticos. [En línea]. 2006. Disponible en: [http://www.google.com.co/search?hl=es&lr=lang\\_es&defl=es&q=define:Digitalizaci%C3%B3n&sa=X&oi=glossary\\_definition&ct=title](http://www.google.com.co/search?hl=es&lr=lang_es&defl=es&q=define:Digitalizaci%C3%B3n&sa=X&oi=glossary_definition&ct=title)

JIMENEZ, O. Cartografía de Suelos. [En línea]. 2006. Disponible en <http://edafología.ugr.es/carto/tema03/mapas.htm>

KORTH, H.F: SILBERSCHATZ, A. Fundamentos de bases de datos. 2 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1993. p. 739.

LOPEZ, P. Modelado de Bases de Datos Orientado a Objetos. [En línea]. 2005. Disponible en: [http://www.postgresql.cl/articulos/gmo\\_najar.htm](http://www.postgresql.cl/articulos/gmo_najar.htm)

LLANES, B. Wikipedia: La Enciclopedia Libre. [En línea]. 2005. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cartograf%C3%ADa>

MAIDMENT, David R y REED, Seann M. Proyecciones Cartográficas. [En línea]. 2006. Disponible en: <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GISHYDRO/africa/ex2af/ex2afs.htm>,

MICROSOFT. Paso a paso Access 97. Aravaca. McGrawHill. 1997.

NAJAR ARREOLA, Guillermo. Manual Access 97. [En línea]. 2004. Disponible en: <http://ponce.inter.edu/cai/manuales/Manual Access 97>

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL. Plan mundial de navegación aérea para los sistemas CNS/ATM. Madrid. OACI. 2000; p. 120.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL. Manual del Sistema Geodésico Mundial – 1984. Madrid. OACI. 1997; p. 111.

ORTIZ, Gabriel. Que son SIG. [En línea]. Disponible en: [gabrielortiz.com](http://recursos.gabrielortiz.com): Página personal. Contenidos y recursos SIG/ Teoría SIG/ Temas de iniciación. <http://recursos.gabrielortiz.com>.

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. Servicios de información aeronáutica. Anexo 15. Bogota. OACI. 1997.

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. Cartas de radionavegación. Anexo 4. Bogota. OACI. 1997.

ORRANTIA C., I. Sistemas de información geográficos (SIG) y agricultura. Centro Agrícola (Cuba). 2000; p. 84-85.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Frecuencias radioeléctricas para las actividades meteorológicas. Buenos Aires. 2005. [En línea]. Disponible en: [http://www.wmo.int/web/www/Planning-Impl/RA-3/2005-BAires/ISS-5-2\(5\)\\_es.doc](http://www.wmo.int/web/www/Planning-Impl/RA-3/2005-BAires/ISS-5-2(5)_es.doc)

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Frecuencias radioeléctricas para las actividades meteorológicas. Buenos Aires.[En línea]. 2005. Disponible en: [http://www.wmo.int/web/www/Planning-Impl/RA-3/2005-BAires/ISS-5-2\(5\)\\_es.doc](http://www.wmo.int/web/www/Planning-Impl/RA-3/2005-BAires/ISS-5-2(5)_es.doc),

PRADO, T. Nociones Básicas sobre Proyecciones Cartográficas. [En línea]. 2006. Disponible en: <http://www.euitto.upm.es/~mab/tematica/htmls/proyecciones>

ROQUES, P. UML in practice; the art of modeling software systems demonstrated through worked examples and solutions. Chichester (Inglaterra). John Wiley and Sons. 2005; p. 296.

SCHMULLER, Joseph. Aprendiendo UML en 24 Horas. México: Pearson Educación, p. 45-171.

SAMPIERI HERNANDEZ, Roberto. Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill, 1998; p. 60.

SENN, J.A. Análisis y diseño de sistemas de información. 2 ed. México: McGraw-Hill. 1992; p. 942.

TAMAYO, S. Metadatos Geoespaciales. [En línea]. 2006. Disponible en: <http://www.euitto.upm.es/~mab/tematica/htmls/metadatos.ppt>

WIEDERHOLD, G. Diseño de Bases de Datos. 2 ed. New York (Estados Unidos):McGraw-Hill, 1985; p 921.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL. Manual del sistema geodésico mundial – 1984 (WGS-84). 1997. p. 2-3.

WIKIPEDIA. Cartografía. Enlaces externos [En línea] 18 de Septiembre de 2006. Wiki>Cartografía. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cartograf%C3%ADa>,

Rodríguez García,María José. NOCIONES GRÁFICAS SOBRE PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS. Clasificación de las proyecciones. [En línea] Madrid. Abril de 1998.

Proyecciones>Clasificación de las proyecciones. Disponible en:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Cartograf%C3%ADa>

Giraldo, Juan. Web de historia de la aviación. Las infraestructuras para la aviación aérea. [En línea]. Madrid. 2005. Inicio>Contenido>Las Infraestructuras para la navegación aérea. Disponible en:  
[http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia\\_aviacion/tema13.html](http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia_aviacion/tema13.html)

AERONÁUTICA CIVIL DE COLOMBIA. Aeropuertos. [En línea]. Bogotá. 2006. Aeropuertos>Rionegro. Disponible en:  
<http://www.aerocivil.gov.co/Aeropuertos/Rionegro/index.htm>

# **ANEXOS**

## ANEXO A

### FASE 2: ANÁLISIS Y DISEÑO

Según información suministrada por la torre de control del aeropuerto La Nubia de Manizales se estableció el análisis e implementación del Sistema tomando en cuenta la actualización de los datos Aeronáuticos que conforman las Cartas de Radionavegación, con el propósito de garantizar que la información permanezca actualizada y que sirva como aporte fundamental en las actividades relacionadas a una ejecución de vuelo, ofreciendo disponibilidad de consultas asociadas a las coordenadas geográficas y localizaciones involucradas en las Cartas. La Tabla 1 describe las funciones del sistema.

**Tabla 1. Funciones del Sistema**

NOMBRE	FUNCIÓN
Validar	Definir el grado de operación de cada Usuario que ingresa al Sistema y las funciones a las que puede tener o no acceso.
Manipular	El Sistema posee una Interfaz Gráfica amigable y practica para entregar la información de consulta requerida por el Usuario
Agregar	El Sistema permite registrar nuevos parámetros de Información Aeronáutica, para el ciclo de vida del Sistema permanezca vigente.
Administrar usuarios	El Usuario Administrador es quien delega la Clave de acceso al Sistema y esta es definida según Clave Física de la Licencia de ArcView y asignada mediante un Script de Programación
Adicionar	Ingresar información coherente al Sistema.
Ingresar	Solicitar clave de acceso para el ingreso al Sistema, según la licencia física de ArcView. Esta es asignada por el Administrador según el nivel de Usuario final.
Consultar	Examinar y ubicar datos geográficos que se encuentran almacenados en la Base de Datos. Existen dos tipos de consultas: Visuales y de parámetros de referencia (Radioayudas, Puntos de Notificación, Áreas Restringidas, Peligrosas y Prohibidas, Rutas, Umbrales de Pista, Ciclos de Espera, ARP, Localizaciones, Obstáculos, TMA.)
Diagnosticar	Se tienen unas capas de información las cuales relacionan adecuadamente la Base de Datos con las Cartas de radionavegación.

#### 2.1 Etapa 1: Conceptualización y análisis del SIG

**2.1.1 Descripción del caso de estudio.** En la descripción del caso de estudio se realiza el enunciado del problema y se resaltan con Negrilla los sustantivos que posteriormente se convertirán en Clases Candidatas para determinar clases de la base de datos. No todos los sustantivos son Clases Candidatas de forma que es necesario evaluar la pertenencia de cada uno de acuerdo al Sistema. Las palabras que se encuentran resaltadas en Negrilla, son aquellas palabras claves para



determinar las Clases y Atributos (salen de los adjetivos), del Análisis y Diseño del sistema.

**2.1.2 Enunciado del problema.** Colombia está en pleno proceso de actualización de su **sistema geodésico** basado en el **elipsoide** internacional al WGS-84 (Sistema geodésico mundial de referencia 1984) adoptado por la **OACI** (Organización internacional de la aeronáutica civil) como punto de **referencia geodésica** común para la **aviación** civil.

La OACI es una **entidad** encargada de la planificación, implantación y funcionamiento de **CNS** (sistemas de comunicación y navegación) y **ATM** (administración de tránsito aéreo), para brindar mejoras en términos de seguridad, eficiencia y economía en materia de **vuelos**.

Teniendo en cuenta el progreso de la **tecnología**, la OACI está en constante desarrollo de nuevos **sistemas**, entre ellos los **SIG** (Sistemas de información geográfica), los cuáles son software que combinan **bases de datos** con **mapas** permitiendo analizar y manipular los **datos** y obtener **resultados** coherentes y organizados.

En la actualidad Colombia no cuenta con un SIG de manejo de **cartas de radionavegación** puesto que esta **herramienta** es nueva y esta en comienzo de ser adquirida por la OACI.

En este caso de estudio la OACI esta en pleno proceso de adquirir un SIG para la verificación de **radioayudas** el cual tiene un costo alto por el **software** requerido; por ahora la **información** de la **Cartografía Aeronáutica** utilizada para la navegación, tiene por objeto la representación sobre un **plano** de la **superficie terrestre** son manipulados manualmente por los **pilotos** y/o **controladores de tránsito aéreo**.

La OACI especifica en el *Anexo 4: Cartas Aeronáuticas*, “que el vuelo total que planifica y ejecuta el piloto consta de seis (6) **fases de vuelo** en las cuales se utiliza la carta de radionavegación correspondiente, de la siguiente manera:

Fase 1: Rodaje desde el **estacionamiento** de la aeronave hasta el **punto de descolaje**. En esta fase se requiere de la carta del aeródromo.

Fase 2: Decolaje y ascenso hasta la **estructura** de rutas ATS en ruta. En esta fase se emplea la **carta de salida**.

Fase 3: Estructura de rutas ATS en ruta. Se utilizan las **cartas de nivel inferior y superior**.

Fase 4: Descenso hasta la aproximación para ejecutar **aterrizaje**. Se emplea **carta de llegada**.

Fase 5: Aproximación para realizar aterrizaje y aproximación frustrada. Se requiere **carta de aproximación**.

Fase 6: Aterrizaje y rodaje a través de la **pista** hasta el estacionamiento de la aeronave. En esta fase también se emplea la **carta de aeródromo**.

\* Descripción de las cartas:

\***Cartas de aeródromos:** Constan de la estructura del aeródromo con **vista aérea** y sus alrededores, inicialmente aparece el **nombre** del aeródromo, **ciudad** y **país**, y se visualizan todos los **elementos físicos** que lo componen (torre de control, **zonas verdes**, **zona de tanqueo de aviones**, **bomberos**, **zona de vuelo**) además de las características que requiere el piloto para realizar su aterrizaje (**coordenadas Geográficas de umbrales**, **centro de aeródromo**, latitud, longitud).

\***Cartas de salida:** Constan del nombre de la ciudad y el **aeródromo**, número de pista y nombre de la carta de llegada dado que una ciudad puede tener una (1) ó más, la carta muestra las rutas por las cuales pueden salir las aeronaves y los puntos de notificación y ayudas requeridas. Estas cartas además de su información grafica poseen una descripción escrita para facilitar su entendimiento.

\***Cartas de nivel inferior y superior:** Constan de una FIR (Región de Información de Vuelo) que definen la zona de vuelo de Colombia en coordenadas geográficas, aerovías, radioayudas y **áreas restringidas**.

\***Cartas de llegada:** Al igual que la de salida constan de: nombre de la ciudad y el aeródromo, nombre de la carta de salida, además de las rutas, radioayuda y puntos de notificación. Igualmente estas cartas, además de su información grafica poseen una descripción escrita para facilitar su comprensión.

\***Cartas de aproximación:** Constan del nombre de la ciudad y del aeródromo, nombre de la carta de aproximación porque al igual que las cartas de llegada y salida pueden ser una (1) ó más. La **descripción** de la carta de divide en dos **gráficos**, el primero es una vista aérea (planta) y se caracteriza por tener una determinada región de información de vuelo (**FIR**), rutas, puntos de notificación, radioayudas y **obstáculos**; el segundo es una **vista de perfil** que se muestra información de la ruta con todas sus especificaciones.

En esta carta se describe la información de **aproximación frustrada**, es decir, lo que debe hacer el piloto en caso de que su aproximación no haya tenido éxito por diversos **factores**.

Las cartas de radionavegación son una fuente de **Localizaciones** de información previa al **vuelo** total y contienen según su **nombre** datos como:

1. Carta de aeródromo:

- \***Umbrales de pista** y elevaciones correspondientes.
- \***ARP (punto de referencia aeródromo)**.

2. Carta de salida :

- \*Cantidad de **rutas ATS**.
- \*Radioayudas asociadas a las rutas.
- \*Puntos de notificación asociados a las rutas.
- \***Radiales y rumbos** de la ruta.
- \***Ciclos de espera**.

3. Carta de nivel inferior y superior:

- \*Cantidad de rutas tomando un origen.
- \*Radioayudas asociadas a rutas específicas.
- \*Puntos de notificación asociados a rutas específicas.
- \*Radial y rumbo de rutas específicas.
- \*Distancia y altitudes de rutas específicas.
- \*Zonas y/o áreas restringidas.

4. Carta de llegada:

- \*Cantidad de rutas.
- \*Radioayudas asociadas a las rutas.
- \*Puntos de notificación asociados a las rutas.
- \*Radial y rumbo de la ruta.

5. Carta de aproximación:

- \*Obstáculos (**montañas**, áreas restringidas, **ríos** etc.).
- \*Rutas y virajes de aproximación para aterrizar.
- \*Radioayudas y **puntos de notificación** asociados a las rutas.
- \*Rumbos de ruta.
- \*APP (aproximación) frustrada.
- \*Elevación del AD (aeródromo).

La Aeronáutica Civil es la encargada de actualizar la información de las cartas de radionavegación semestralmente con coordenadas WGS-84 y enviarlas a los respectivos **aeródromos** del **país**. La cantidad de cartas varía para cada ciudad y depende del **tráfico** que maneja; para grandes ciudades como **Bogotá, Cúcuta, Barranquilla, Cali y Rionegro** y **departamentos**, existen varias cartas de salida, llegada y aproximación, para ciudades como **Manizales** y **Pereira** la **cantidad** es menor por el bajo nivel de tráfico, en el caso de Manizales no existen cartas de aproximación sino una (1) **carta visual**, que como su nombre lo indica es para realizar **procedimientos** de vuelo visualmente (8 Km de visibilidad); es por esto que cuando el **clima** en la ciudad es desfavorable se procede a cerrar el aeródromo”.

### 2.1.3 Lista de clases candidatas

#### \* Extracción de sustantivos del enunciado

Cartografía aeronáutica	Sistema geodésico
Elipsoide	OACI
Referencia geodésica	Estructura
Punto de referencia AD	Umbrales de pista
Entidad	CNS
ATM	Vuelos
Aviación	Tecnología
Sistemas	SIG
Software	Bases de datos
Mapas	Resultados
Cartas de radionavegación	Datos
Herramienta	Información
Plano	Superficie terrestre
Pilotos	Controladores
FIR	Zona de vuelo
Coordenadas geográficas	Rutas ATS
Radioayudas	Áreas restringidas
Puntos de notificación	Fases de vuelo
Carta de salida	Punto de descolaje
Pista	Carta de llegada
Carta de nivel inferior y superior	Carta de aproximación
Carta aeródromo	Estacionamiento
Aterrizaje	Vista aérea
Nombre	Ciudad
País	Elementos físicos
Zonas verdes	Zonas de tanqueo
Bomberos	Coordenadas umbrales
Centro de aeródromo	Descripción

Gráficos  
Aproximación frustrada  
Ciclos de espera  
Rosa de los vientos  
Ríos  
Ríonegro  
Manizales  
Carta visual  
Ayudas  
Colombia  
Departamentos

Obstáculo  
Factores  
Radiales y rumbos  
Montañas  
Tráfico  
Pereira  
Clima  
Procedimientos  
Aeródromo  
Controladores  
Localizaciones

**\* Eliminación de clases sospechosas, irrelevantes, vagas y redundantes**

Punto de referencia AD  
Ríos  
Río negro  
Manizales  
Carta visual  
Montañas  
Aproximación frustrada  
Carta aeródromo  
Aterrizaje  
Nombre  
País  
Zonas verdes  
Bomberos  
Centro de aeródromo  
Gráficos  
Carta de salida  
Pista  
Carta de nivel inferior y superior  
Colombia  
Cartografía aeronáutica  
Elipsoide  
Referencia geodésica  
Entidad  
ATM  
Aviación  
Sistemas  
Software  
Mapas  
Datos  
Herramienta

Umbrales de pista  
Tráfico  
Pereira  
Clima  
Procedimientos  
Zona de vuelo  
Localizaciones  
Estacionamiento  
Vista aérea  
Ciudad  
Elementos físicos  
Zonas de tanqueo  
Coordenadas umbrales  
Descripción  
Radiales y rumbos  
Punto de decolaje  
Carta de llegada  
Carta de aproximación  
Materia  
Sistema geodésico  
OACI  
Estructura  
CNS  
Vuelos  
Tecnología  
SIG  
Bases de datos  
Resultados  
Coordenadas geográficas  
Información

Plano  
 Pilotos  
 FIR

Superficie terrestre  
 Controladores  
 Rutas ATS

### 2.2.2 Lista de clases candidatas refinadas

Cartas de radionavegación  
 Áreas restringidas  
 Puntos de notificación  
 Obstáculo  
 Ciclos de espera  
 Aeródromo  
 Umbrales de Pista  
 Designadotes de Rutas  
 Ciudades  
 Tipos de puntos de notificación

Radioayudas  
 Tipo de Ayudas  
 Fases de vuelo  
 Rutas ATS  
 Rutas  
 Punto de referencia AD  
 Área de Control Terminal  
 Localizaciones  
 Departamentos

**2.3 Diccionario de datos.** En el diccionario de datos se definen las tablas de la base de datos (SigAeronautica) y sus atributos, siendo estas las clases candidatas refinadas, información que se encuentra en las Tablas 2 - 21

**Tabla 2. Aeródromo**

<b>Aerodromo</b>		Clase que hace referencia al lugar para el despegue y aterrizaje de aviones.
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_ad	Small int (2 bytes)	Llave primaria.
nom_ad	Char (20)	Nombre del aeródromo.
nom_ciu	Char (20)	Lugar de ubicación del AD.
lon_pis	Char (20)	Características de la pista.
pen_por	Char (20)	
pbm_lbs	Char (20)	
anc_pis	Char (20)	

**Tabla 3. Área de Control Terminal**

<b>Area_Control_Terminal</b>		Zona de control de vuelo en áreas de aeródromos.
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_tma	Small int (2bytes)	Llave primaria.
id_tma	Char (20)	Identificador de tma dado por la iniciales de la zona de ubicación del aeródromo.
nom_tma	Char (20)	Nombre de la zona.
cod_fas	Small int (2bytes)	Código de la fase de vuelo que corresponde a la carta.

**Tabla 4. Áreas Restringidas**

<b>Areas_Restringidas</b>	Clase para indicar las áreas con restricciones para volar. Existen tres tipos de áreas: restringidas(R), prohibidas (P) y peligrosas.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_are	Small int (2bytes)	Llave primaria.
ide_are	Char (20)	Código de identificación del área restringida.
alt_pie	Char (20)	Limite vertical. Altura mínima de vuelo.
dep_res	Char (20)	Personas que reciben notificación de vuelo por parte del piloto y autorizan su paso por zona de vuelo restringida.

**Tabla 5. Cartas de Radionavegación**

<b>Cartas_Radionavegacion</b>	Clase asociada a las cartas existentes de las distintas fases de vuelo con sus respectivos atributos	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_car	Small int (2bytes)	Llave primaria.
nom_car	Char (20)	Nombres de las Cartas.
cod_ciu	Small int (2bytes)	Atributo que indica el código de la ciudad a la cual pertenece la carta.
ele_pie	Char (20)	Altitud definida en la carta.
cod_fas	Small int (2bytes)	Atributo que indica el código de la fase de vuelo que corresponde a la carta.

**Tabla 6. Ciclos de Espera**

<b>Ciclos_espera</b>	Clase para indicar el circuito de tiempo de espera en el momento de aproximación al aeródromo.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_cic	Small int (2bytes)	Llave primaria.
cod_car	Small int (2bytes)	Relaciona el nombre de la carta con una o más rutas.
nom_rad	Char (20)	Nombre de la radioayuda asociado al ciclo de espera.
nom_pun	Char (20)	Nombre del punto de notificación asociado al ciclo de espera.
ele_cic	Small int (2bytes)	Altitud mínima con la que se debe sobrevolar en el circuito.
rad	Char (20)	Angulo por el que debe ingresar la aeronave a la radioayuda.
rum	Char (20)	Angulo por el que debe salir la aeronave de la radioayuda hacia el horizonte de la ruta.

**Tabla 7. Ciudades**

<b>Ciudades</b>	Ciudades de Colombia asociadas a las cartas de aeródromo.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_ciu	Small int (2bytes)	Llave primaria.
cod_dep	Small int (2bytes)	Atributo para relacionar el departamento de la ciudad.
nom_ciu	Char (20)	Nombre ciudad de Colombia donde existen aeropuertos.

**Tabla 8. Departamentos**

<b>Departamentos</b>	Departamentos de Colombia relacionados en el SIG.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_dep	Small int (2bytes)	Llave primaria.
nom_dep	Char (20)	Nombre de la división de territorio o departamento.

**Tabla 9. Designadotes de Rutas ATS**

<b>Designador_Rutas</b>	Clase para indicar la Ruta o Aerovía.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_rut	Small int (2bytes)	Llave primaria.
des_rut	Char (20)	Identificación de la ruta.

**Tabla 10. Fases de Vuelo**

<b>Fases_Vuelo</b>	Clase que relaciona las 6 fases de vuelo definidas por la OACI para la realización de un vuelo.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_fas	Small int (2bytes)	Llave primaria.
car_fas	Char (20)	Define el nombre de las fases de vuelo.

**Tabla 11. Localizaciones**

<b>Localizaciones</b>	Clase para indicar los sitios y/o lugares definidos en las cartas de radionavegación.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_loc	Small int (2bytes)	Llave primaria.
nom_loc	Char (20)	Nombre de la localización.



**Tabla 12. Obstáculos**

<b>Obstaculo</b>	Clase que relaciona los obstáculos que limitan el espacio aéreo Colombiano.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_obs	Small int (2bytes)	Llave primaria.
nom_obs	Char (20)	Nombre del obstáculo.
ele_pie	Char (20)	Altura de los obstáculos.
fap	Char (20)	Área del Punto de Aproximación Final

**Tabla 13. ARP**

<b>Punto_Referencia_AD</b>	Clase que indica el punto central de la pista del aeródromo.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_ad	Small int (2bytes)	Llave primaria.
lat_arp	Char (20)	Coordenadas geográficas WGS-84 que indican la localización del ARP.
lon_arp	Char (20)	

**Tabla 14. Puntos de Notificación**

<b>Puntos_Notificacion</b>	Clase para indicar los puntos de reporte de vuelo que debe realizar el piloto, estos pueden ser obligatorios, de servicio (solicitud) y meteorológicos.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_pun	Small int (2bytes)	Llave primaria.
nom_pun	Char (20)	Nombre del punto de notificación.
tip_pun	Char (20)	Tipos de puntos de notificación.
lat_pun	Char (20)	Coordenadas geográficas WGS-84 que indican la ubicación de puntos de notificación al norte o sur del ecuador.
lon_pun	Char (20)	Coordenadas geográficas WGS-84 que indican la ubicación de puntos de notificación al este u oeste de la línea de referencia.

**Tabla 15. Relación entre Radioayudas y Tipos de Ayuda**

<b>RadioayudaTipo_ayudas</b>	Relación entre Radioayuda y tipo de ayuda.	
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_rad	Small int (2bytes)	Llave primaria.
tip_rad	Small int (2bytes)	Nombre del tipo de radioayuda.
fre_mhz	Char (20)	Señal enviada por las ayudas (VOR, DME, NDB y VOR/ DME).

**Tabla 16. Radioayudas**

<b>Radioayudas</b>		Clase para indicar el punto donde se puede conocer la ubicación de una aeronave a través de ondas electromagnéticas.
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_rad	Small int (2bytes)	Llave primaria.
nom_rad	Char (20)	Nombre de la ciudad donde esta ubicada la radioayuda.
ide_rad	Char (20)	Código que indica la ciudad donde se encuentra ubicada la radioayuda.
lat	Char (20)	Coordenadas geográficas WGS-84 que indican la localización de las radioayudas en un lugar de la superficie de la tierra.
lon	Char (20)	
obs	Char (20)	Atributo donde se define el área de cobertura de la señal de la radioayuda.

**Tabla 17. Rutas**

<b>Rutas</b>		Clase asociada a las rutas aéreas de las cartas de llegada, salida y aproximación.
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_rut	Small int (2bytes)	Llave primaria.
des_rut	Char (20)	Identificación de la ruta.
rut	Char (20)	Nombre de la Ruta (origen – destino).
alt	Char (20)	Atributo que indica la altitud a la que se debe volar por las Rutas.

**Tabla 18. Rutas ATS**

<b>RutasATS</b>		Clase para indicar las aerovías asociadas a las Cartas de nivel superior e inferior.
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_rut	Small int (2bytes)	Llave primaria.
cod_des	Small int (2bytes)	Atributo que indica el código del designador correspondiente a la ruta.
tra	Char (20)	Atributo de que indica el código de la fase de vuelo.
dis	Small int (2bytes)	Atributo que indica la distancia de un punto a otro.
alt	Char ( 20)	Atributo que indica la altitud a la que se debe volar por las aerovías.

**Tabla 19.** Tipo de Ayudas

<b>Tipo_ayudas</b>		Clase asociadas a los sistemas de radio para la ubicación del avión.
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_ayu	Small int (2bytes)	Llave primaria.
nom_ayu	Char (20)	Nombre de los equipos ubicados en tierra que forman parte de la radioayuda. Existen tres tipos: VOR, DME, NDB y VOR/DME.
atr_ayu	Small int (2bytes)	Atributo de la Ayuda.

**Tabla 20.** Tipo de puntos de notificación

<b>Tipos_puntos_notificacion</b>		Clase asociada a los tipos de puntos: punto de notificación obligatorio (PNO), punto de notificación de servicio (PNS) o punto de notificación meteorológico (ATS/MET).
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_pun	Small int (2bytes)	Llave primaria.
ide_pun	Char (20)	Nombre del tipo de punto de notificación.

**Tabla 21.** Umbrales de Pista.

<b>Umbrales de Pista</b>		Clase relacionada a los puntos de despegue y aterrizaje de aviones.
<b>Nombre del campo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
cod_umb	Small int (2bytes)	Llave primaria
cod_ad	Small int (2bytes)	Código del ad correspondiente al umbral.
ele_umb	Char (20)	Altitudes mínimas a las que se debe sobrevolar para el aterrizaje en pista.
lat_umb	Char (20)	Coordenadas asociadas a los puntos específicos para ingresar a la pista en caso de despegue o aterrizaje
lon_umb	Char (20)	
cab	Small int (2bytes)	Cabecera de los extremos de pista.

En las siguientes Figuras 1 – 31 se ilustra todo el análisis y diseño del Sistema de Información Geográfica AEROSIG

Figura 1. Diagrama de Clases y Objetos I

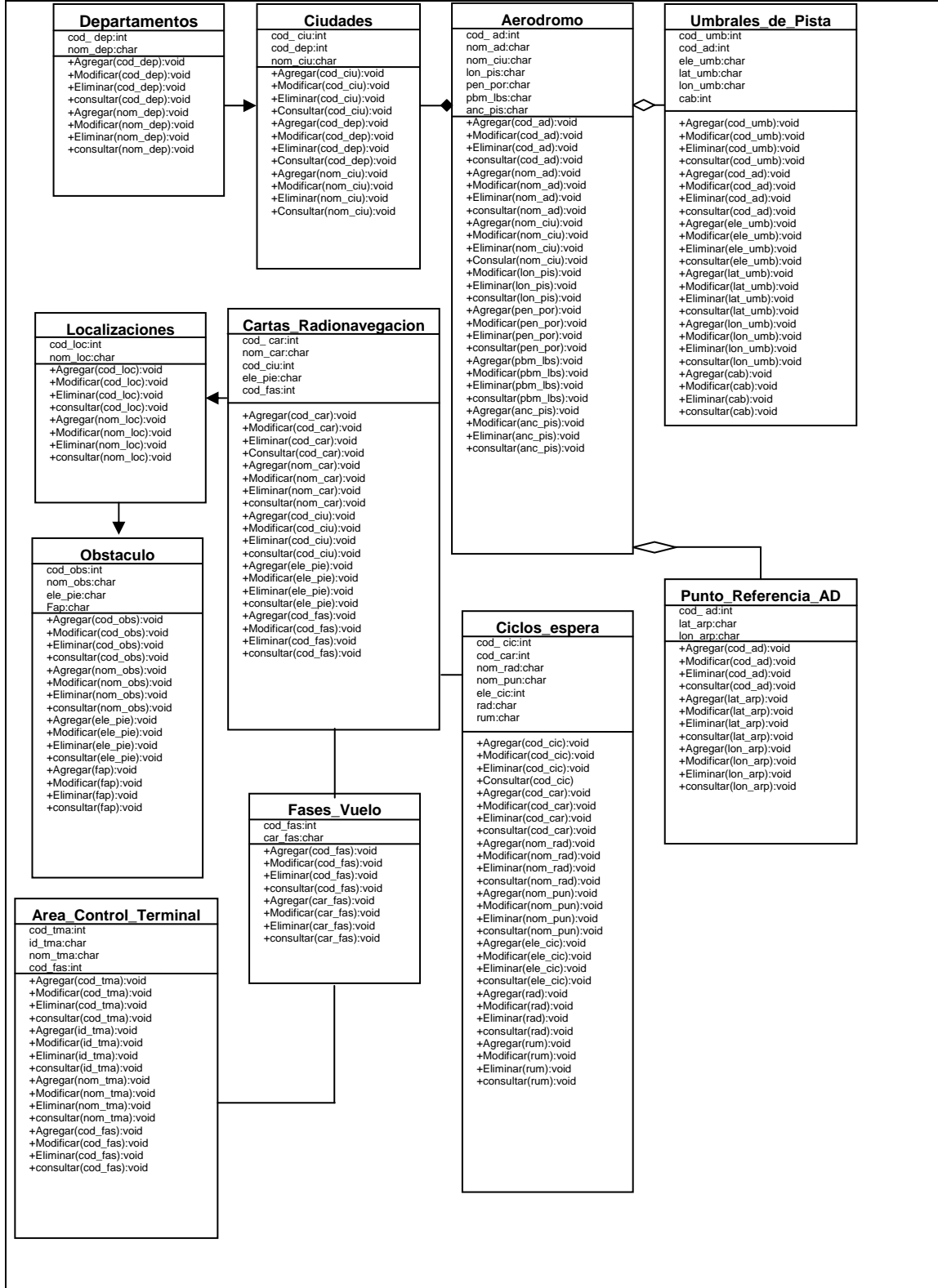
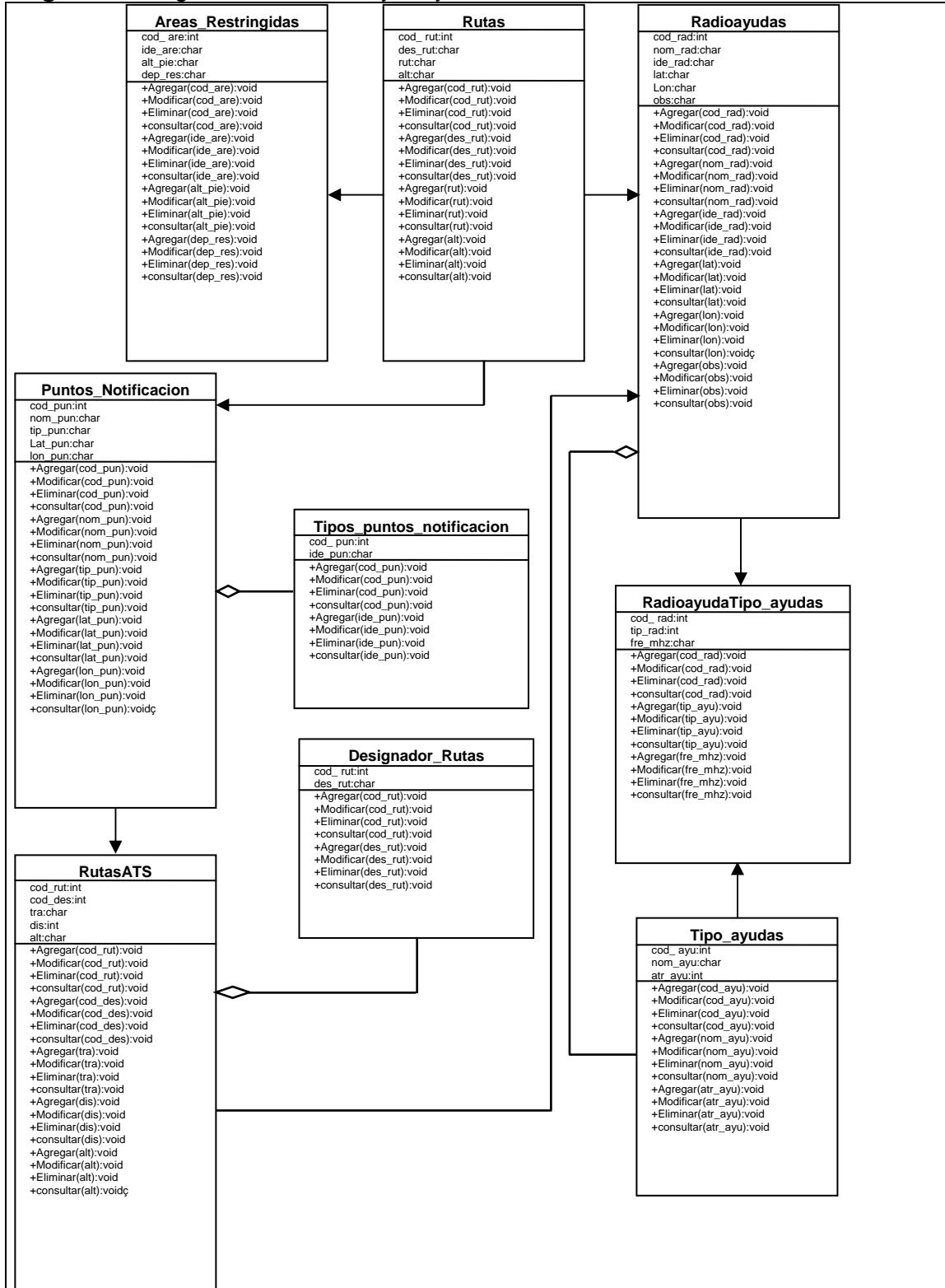


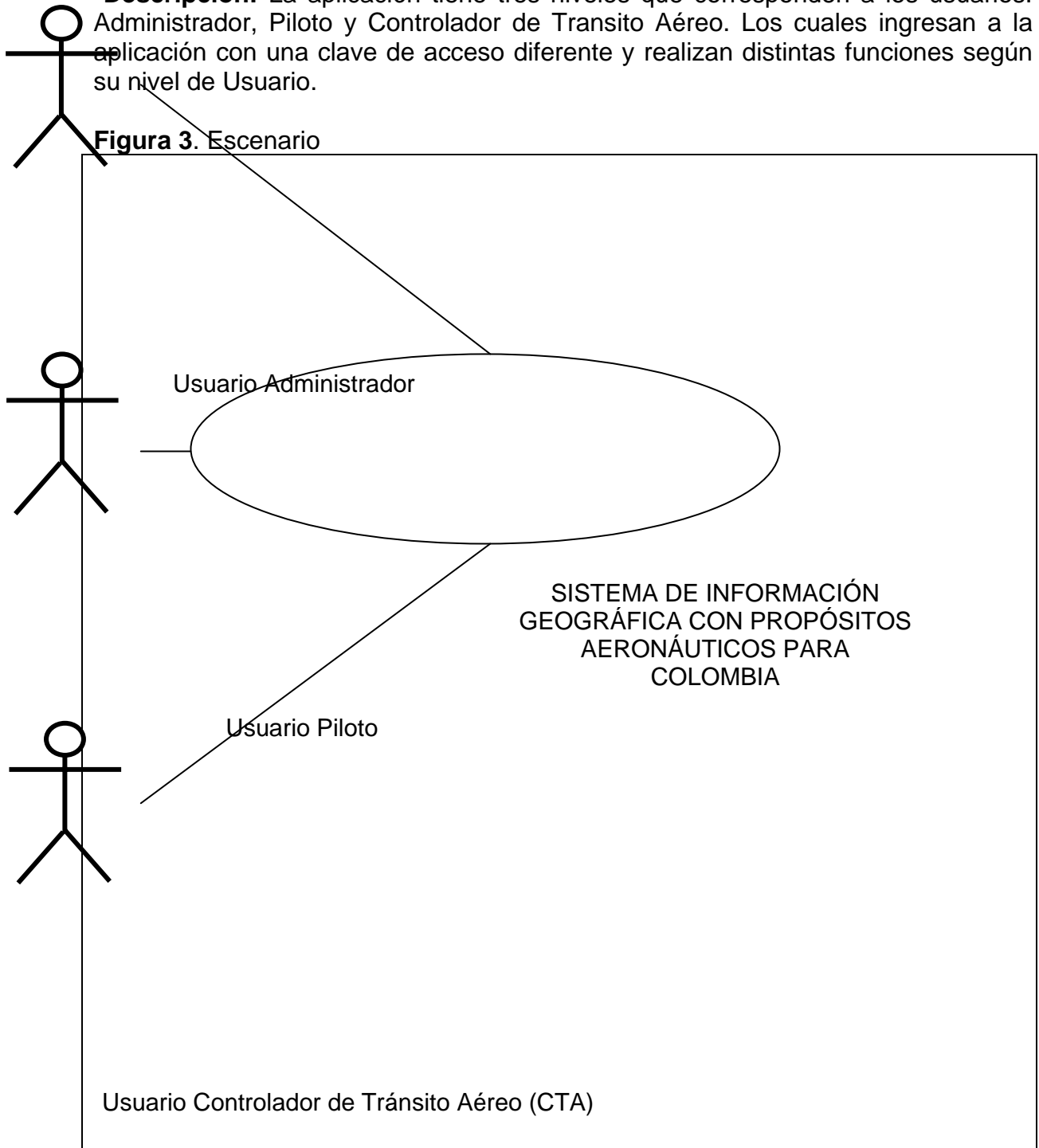
Figura 2. Diagrama de Clases y Objetos II.



## 2.4. Escenario

\***Actores:** Administrador, Piloto y Controlador de tránsito aéreo.

\***Descripción:** La aplicación tiene tres niveles que corresponden a los usuarios: Administrador, Piloto y Controlador de Tránsito Aéreo. Los cuales ingresan a la aplicación con una clave de acceso diferente y realizan distintas funciones según su nivel de Usuario.



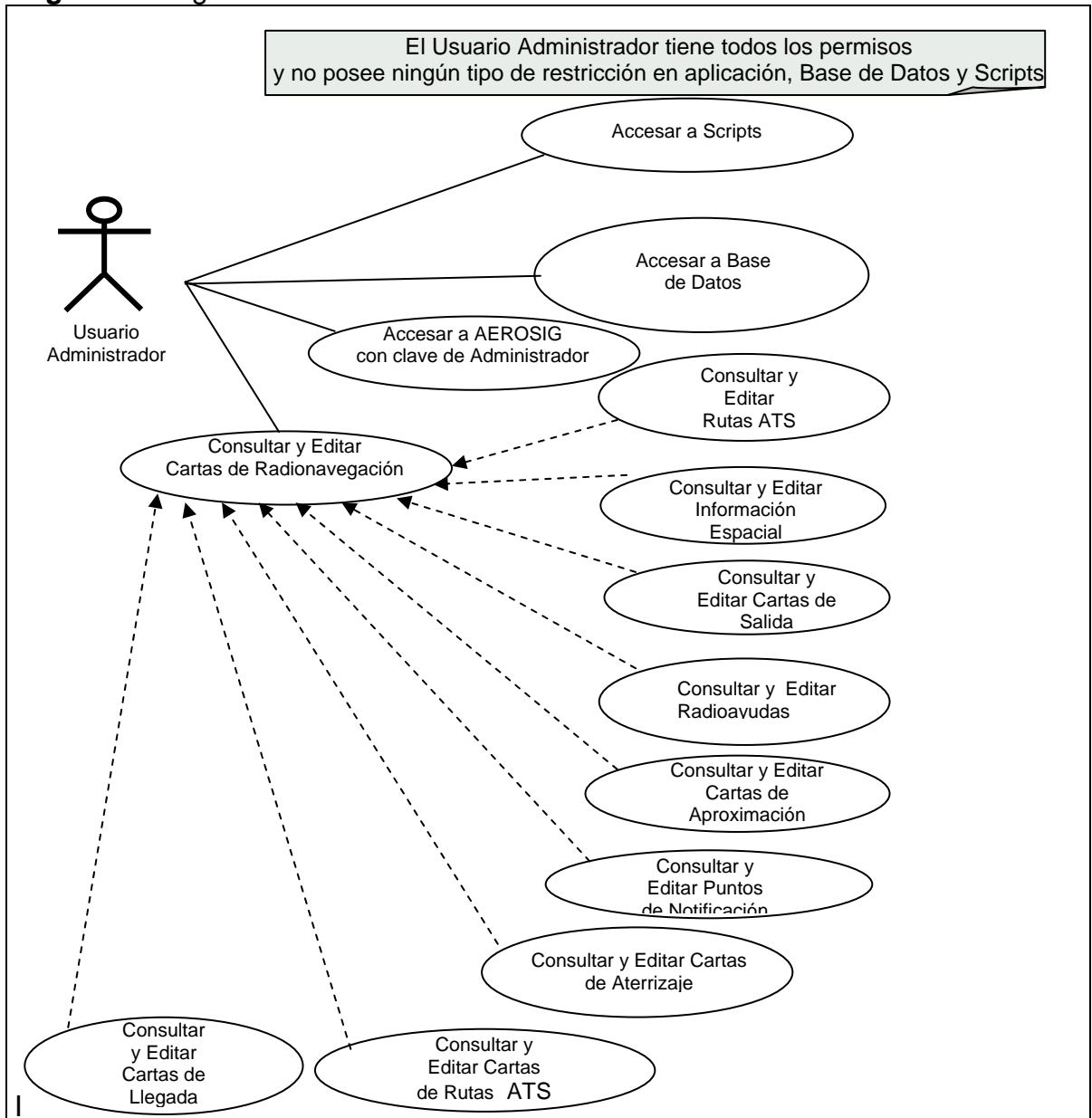
## 2.5 Diagramas de Arquitectura

### 2.5.1 Diagrama de Caso de Uso I. Usuario Administrador.

\***Actor:** Administrador.

\***Descripción:** El administrador del sistema tiene total control sobre la aplicación, puede efectuar operaciones de consulta, edición, actualización y eliminación sobre Cartas, Base de Datos y Scripts.

**Figura 4.** Diagrama de Caso de Uso

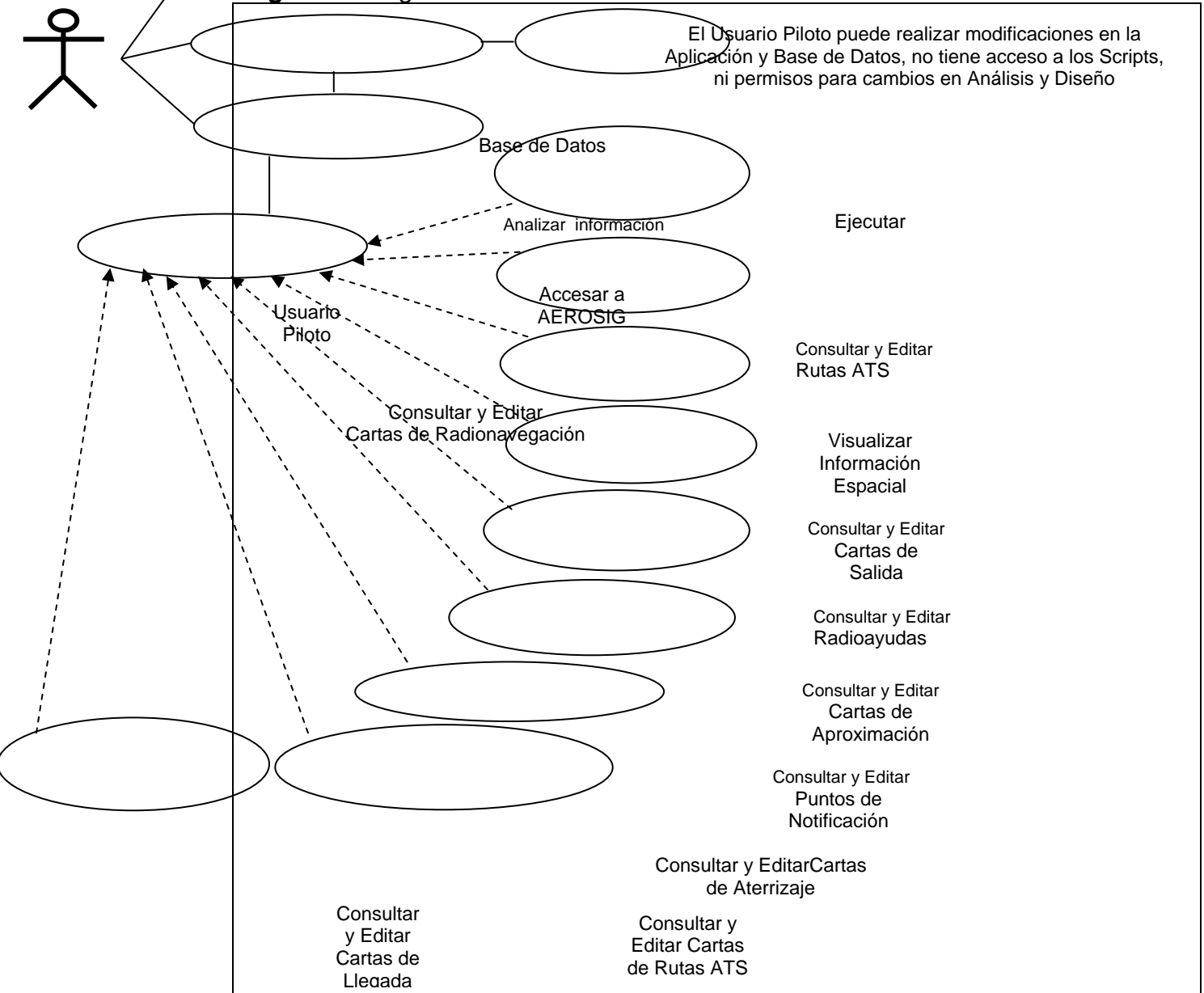


## 2.5.2 Diagrama de Caso de Uso II. Usuario Piloto.

**\*Actor:** Piloto.

**\*Descripción** [Redacted] o consultas, edición y actualización de la aplicación para efectos de cambios en diseño y estructura del SIG.

**Figura 5.** Diagrama de Caso de Uso II



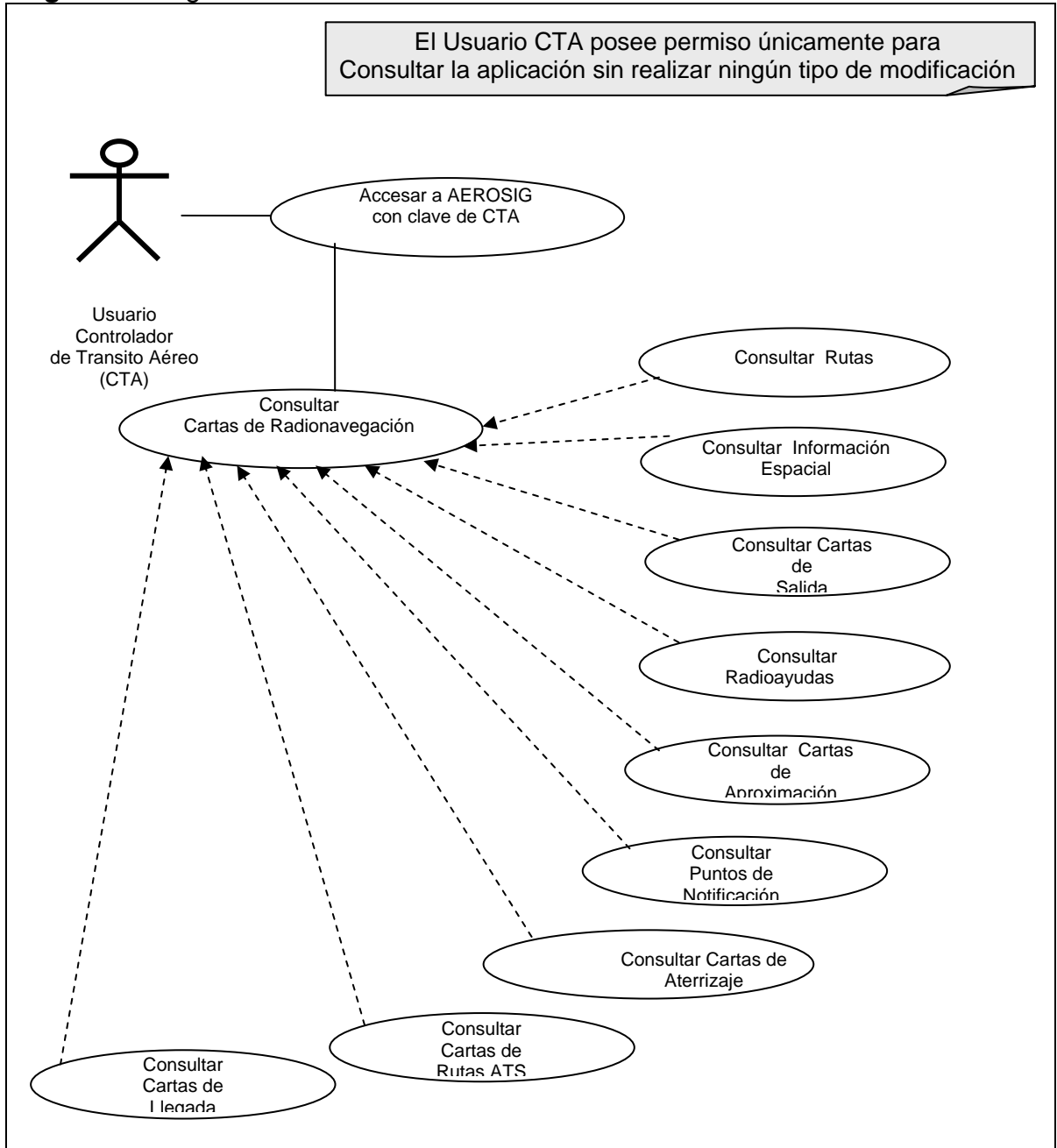


### 2.5.3 Diagrama de Caso de Uso III. Usuario Controlador de transito aéreo.

\***Actor:** Controlador de Transito Aéreo.

\***Descripción:** Los controladores de tránsito aéreo únicamente pueden efectuar operaciones de consulta.

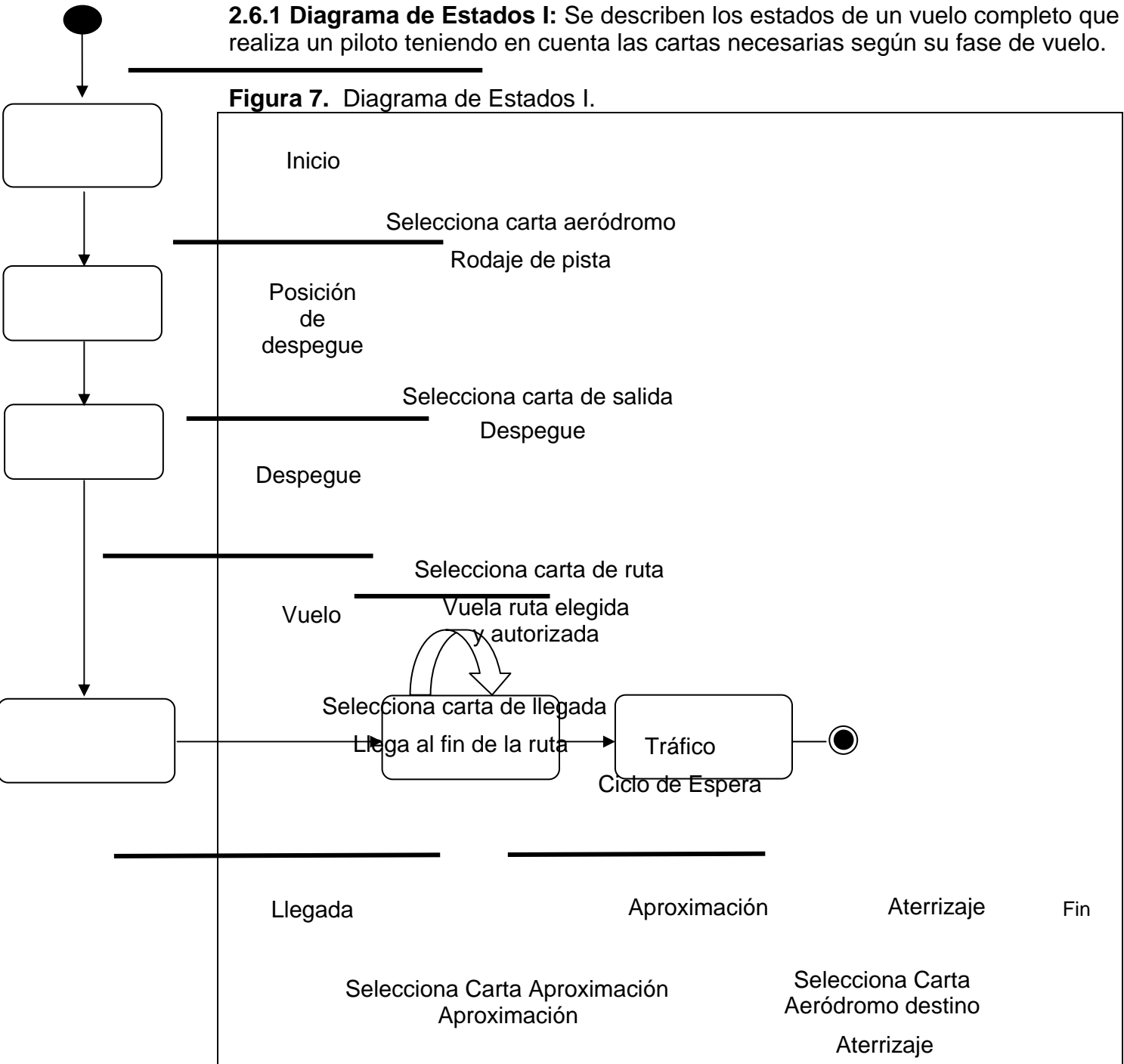
**Figura 6.** Diagrama de Caso de Uso III.



**2.6 Diagramas de Comportamiento.** Para la realización de los siguientes diagramas de estados fueron tomadas las clases con comportamiento dinámico: Ejecución de Vuelo, Aeródromo y Rutas ATS.

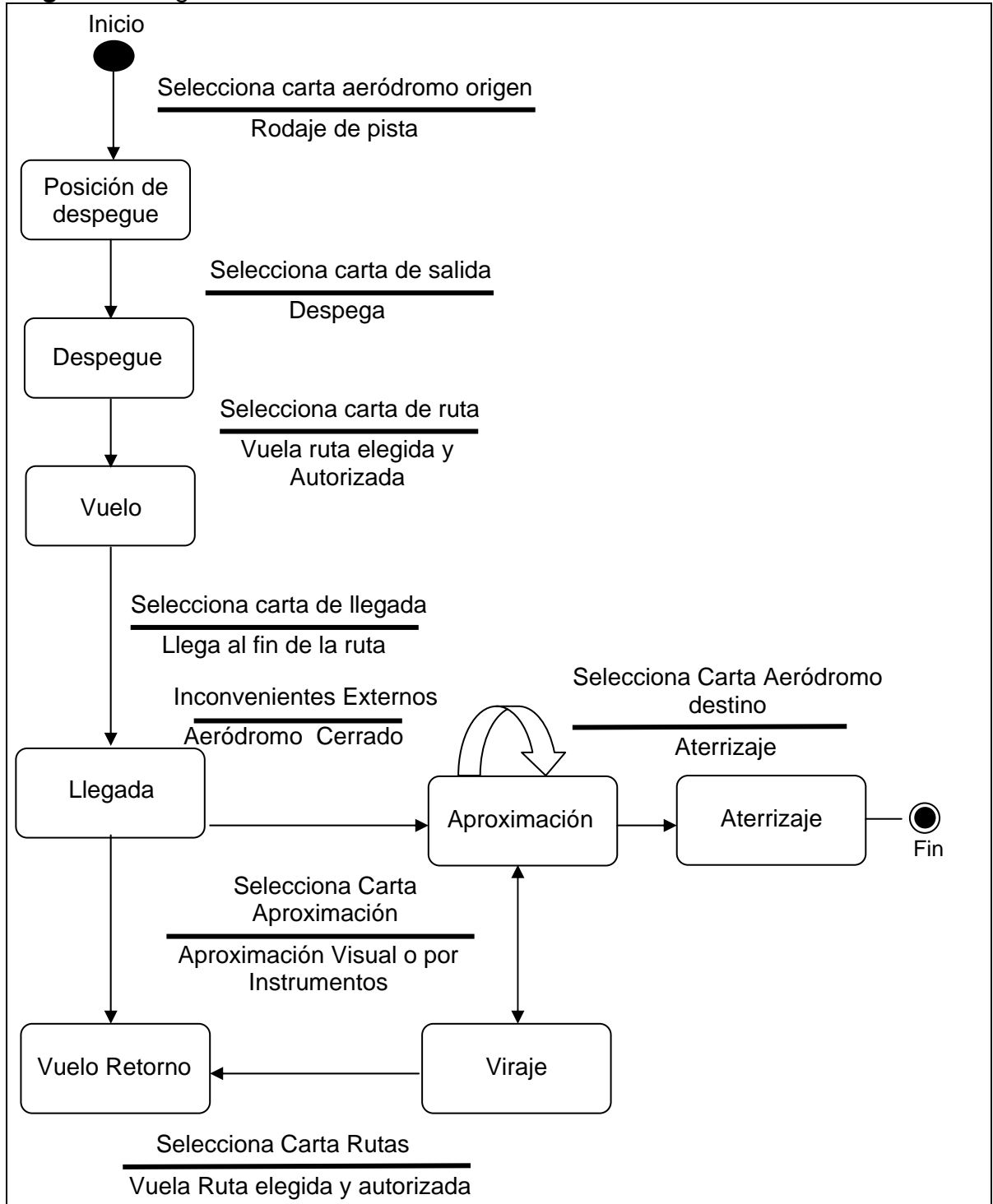
**2.6.1 Diagrama de Estados I:** Se describen los estados de un vuelo completo que realiza un piloto teniendo en cuenta las cartas necesarias según su fase de vuelo.

**Figura 7.** Diagrama de Estados I.



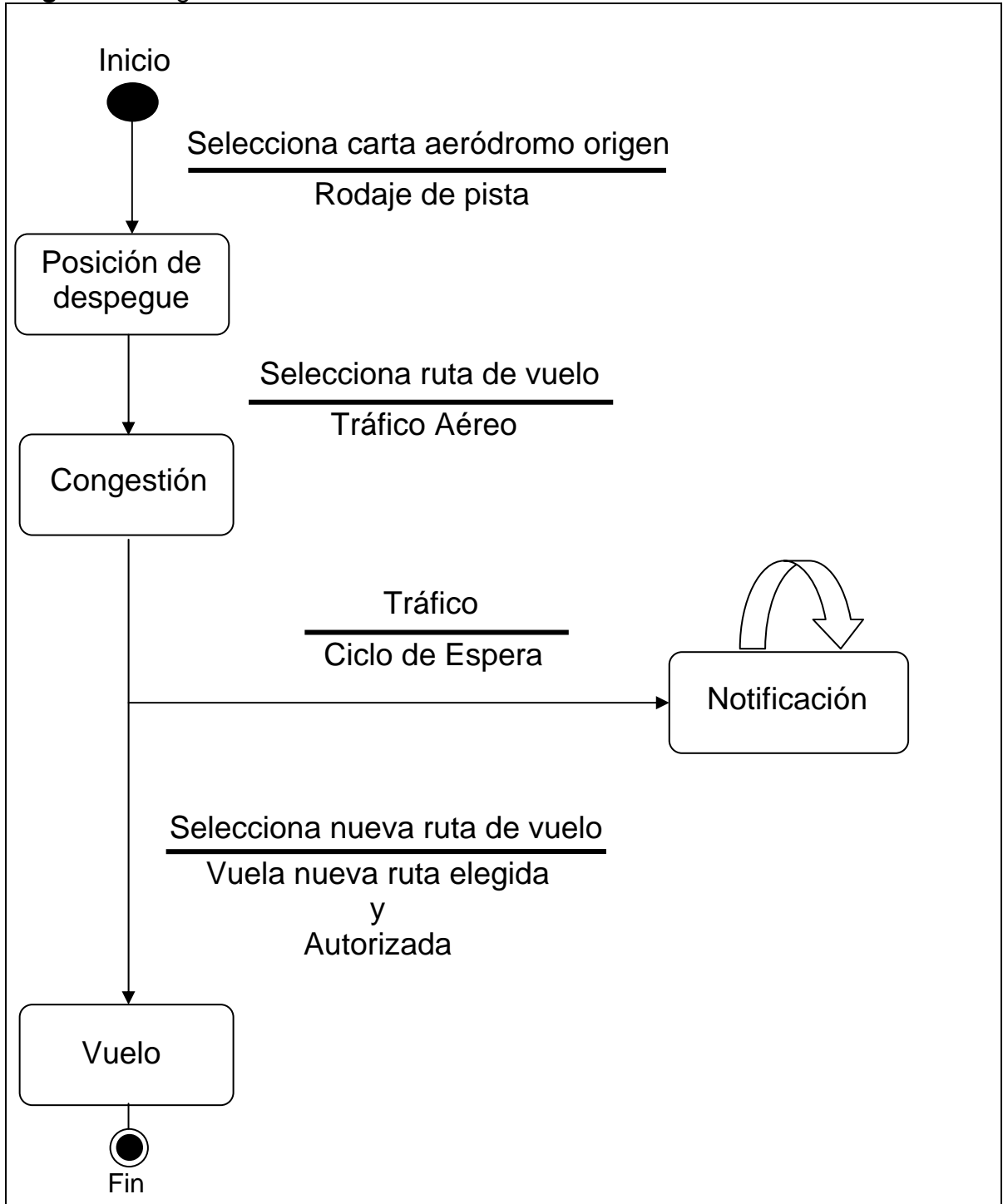
**2.6.2 Diagrama de Estados II.** Se describen los estados asociados a un vuelo con aproximación frustrada y estado del Aeródromo

**Figura 8.** Diagrama de Estados II.

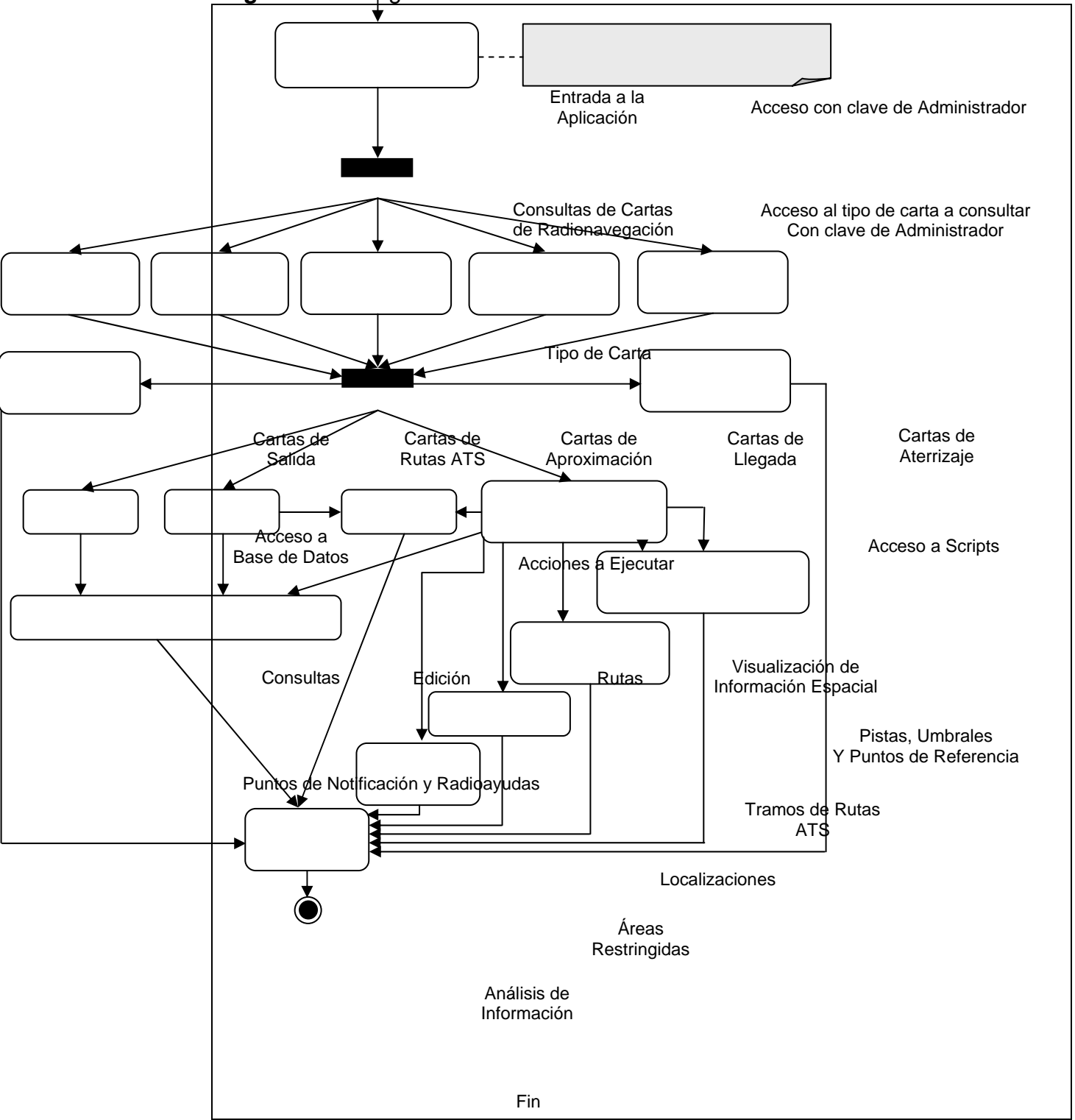


**2.6.3 Diagrama de Estados III.** Se describen los estados asociados al tráfico de Rutas ATS.

**Figura 9.** Diagrama de Estados III.

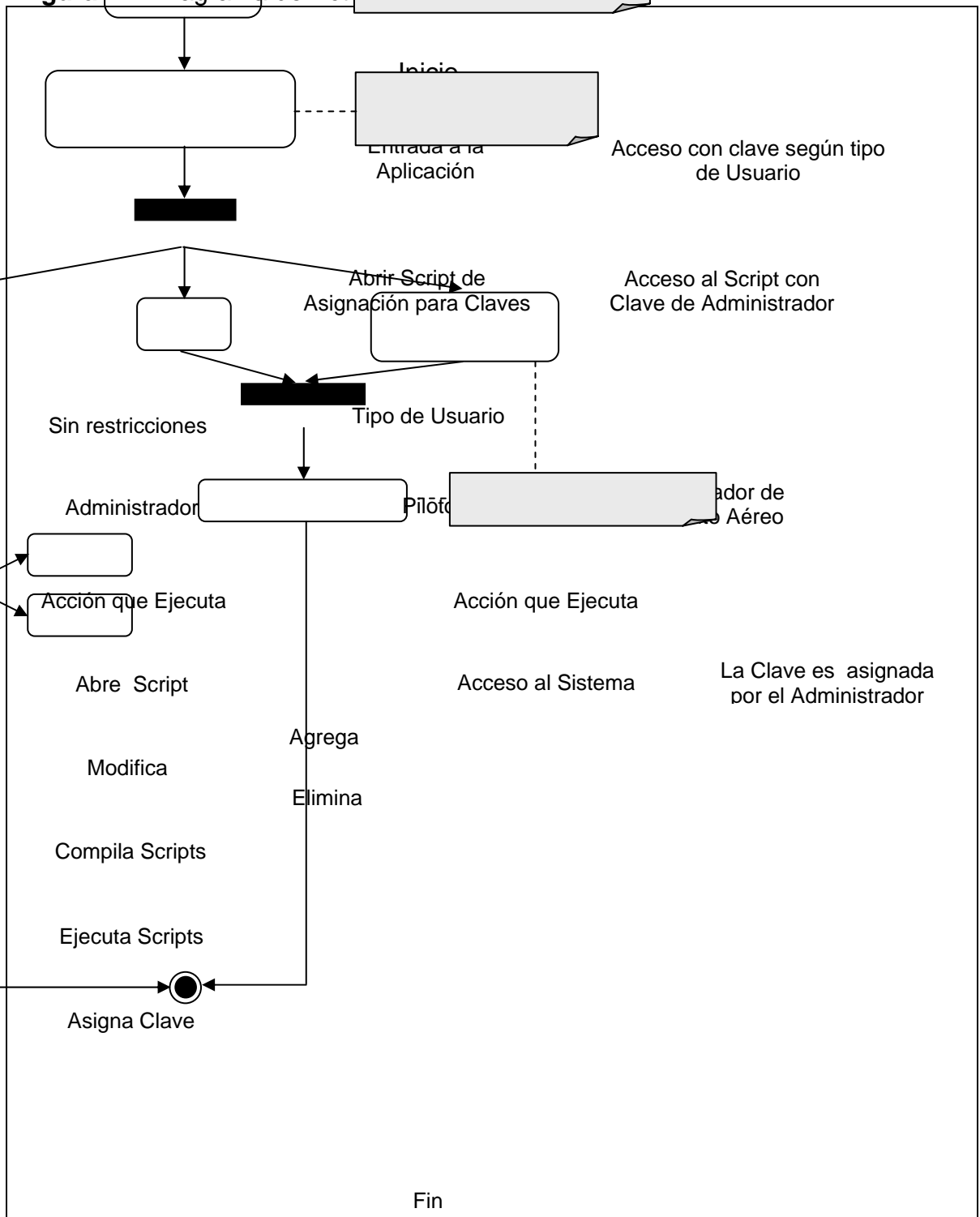


2.7 Diagrama de Actividades del Administrador en el Sistema.  
 Figura 10. Diagrama de Actividades I



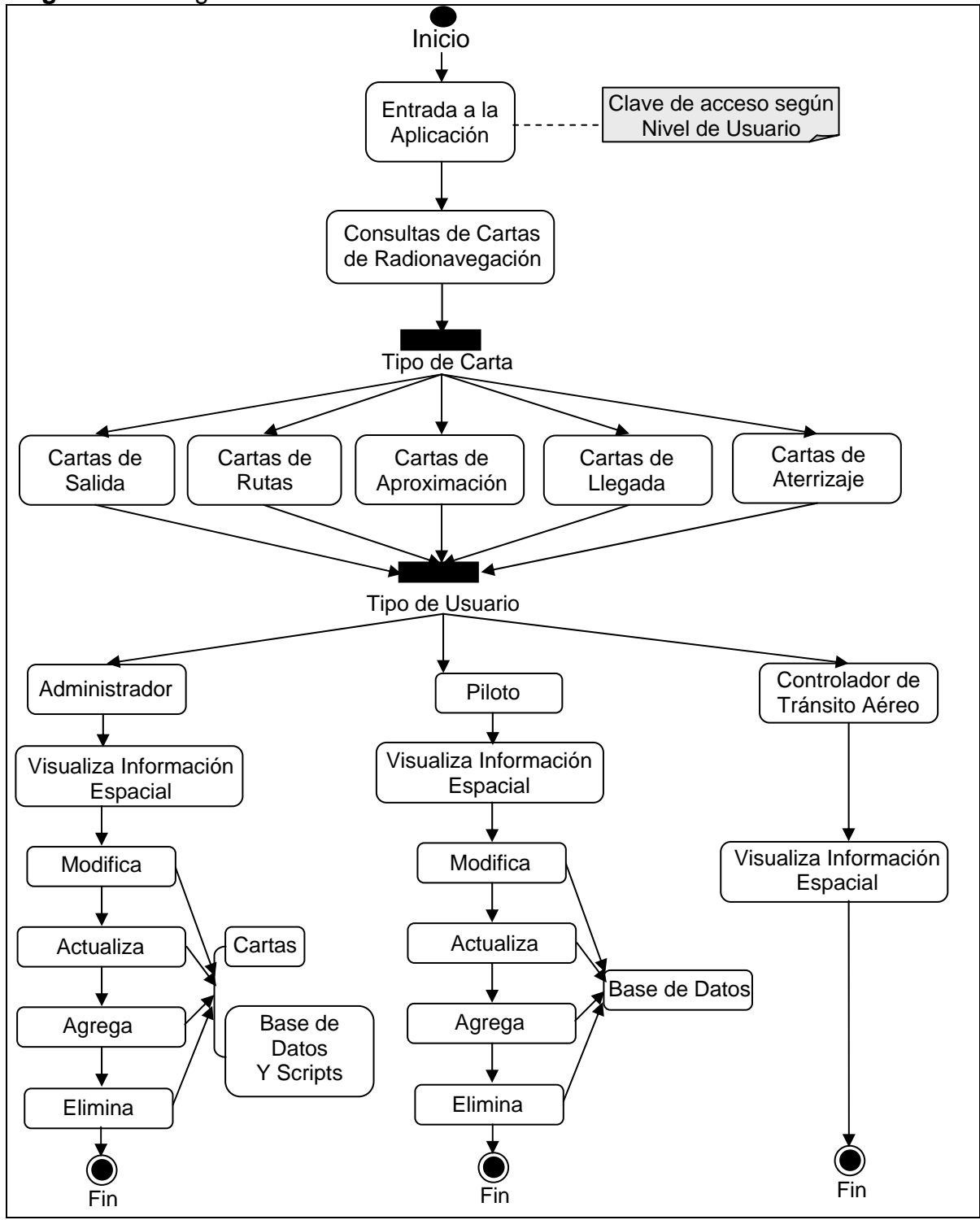
### 2.7.1 Diagrama de Actividades II. Asignación de clave para Usuarios finales.

Figura 11. Diagrama de Acti



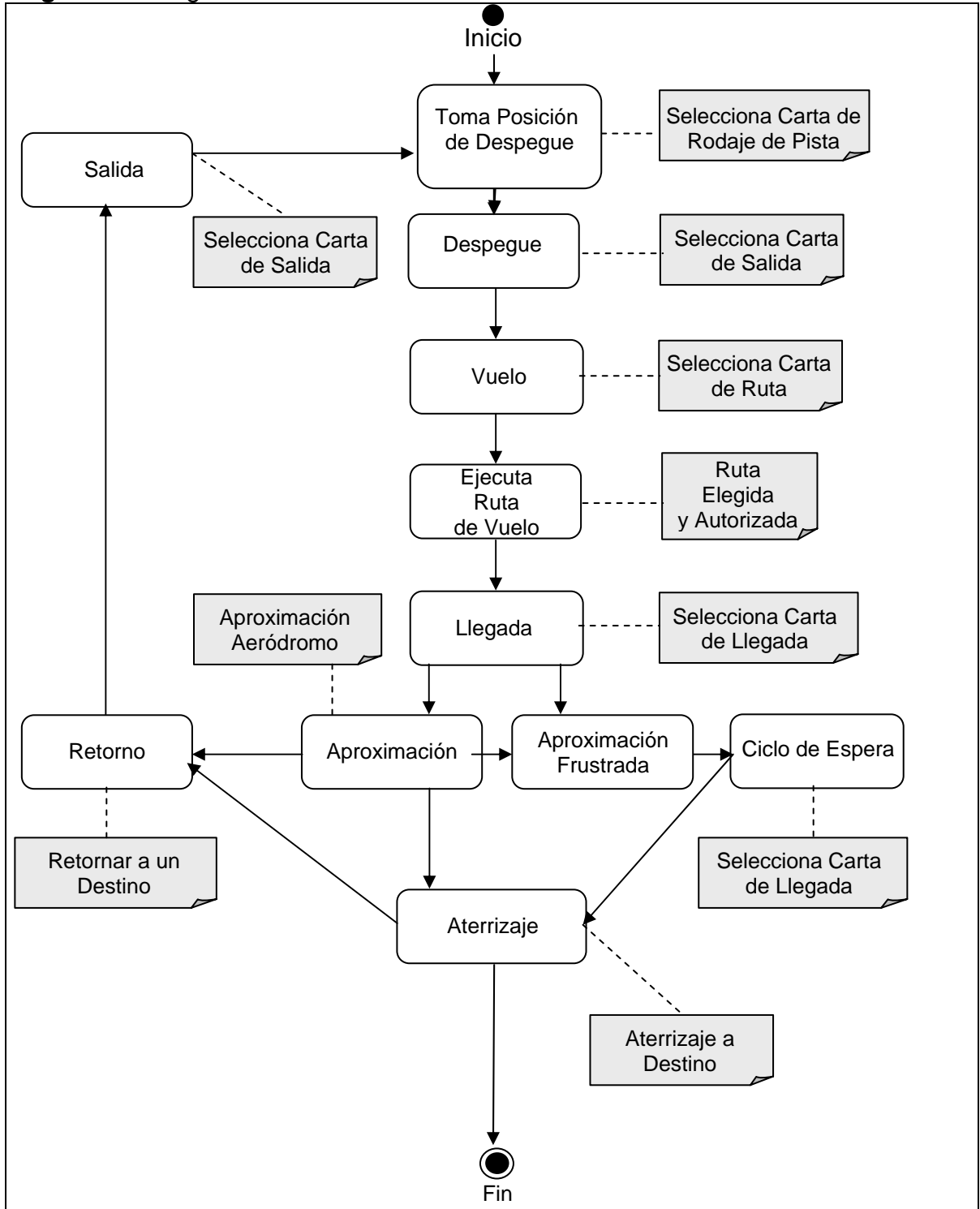
**2.7.2 Diagrama de Actividades III.** Roles de cada Usuario final en acciones de Consulta y Edición del Sistema.

**Figura 12.** Diagrama de Actividades III.



**2.7.3 Diagrama de Actividades IV.** Se describen los estados de un vuelo completo que realiza un piloto teniendo en cuenta las cartas necesarias según su fase de vuelo.

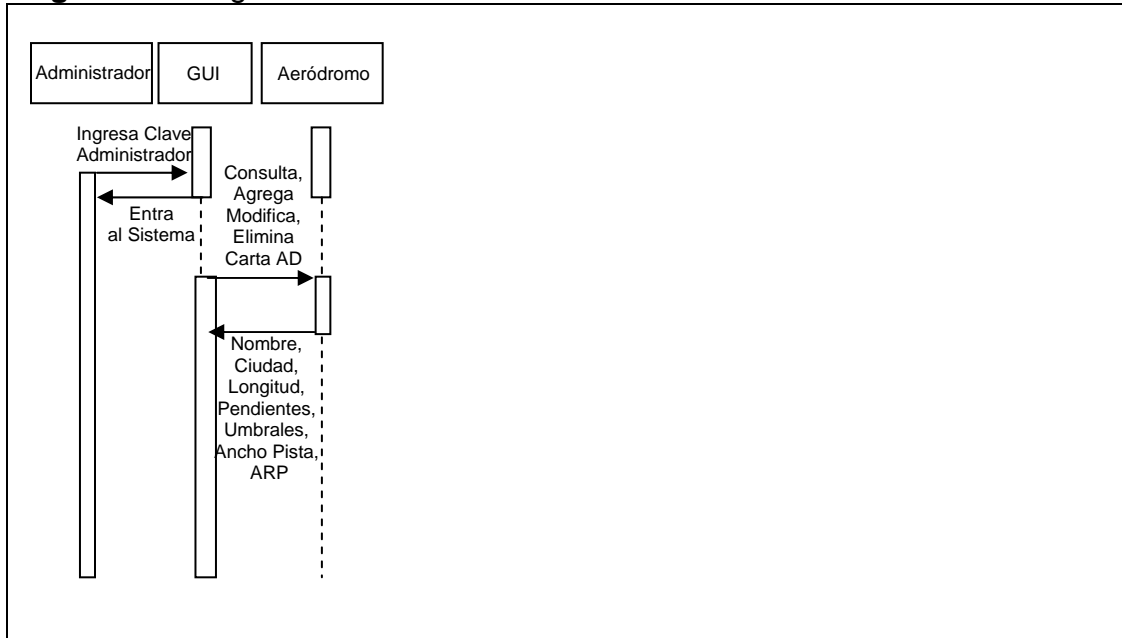
**Figura 13.** Diagrama de Actividades IV





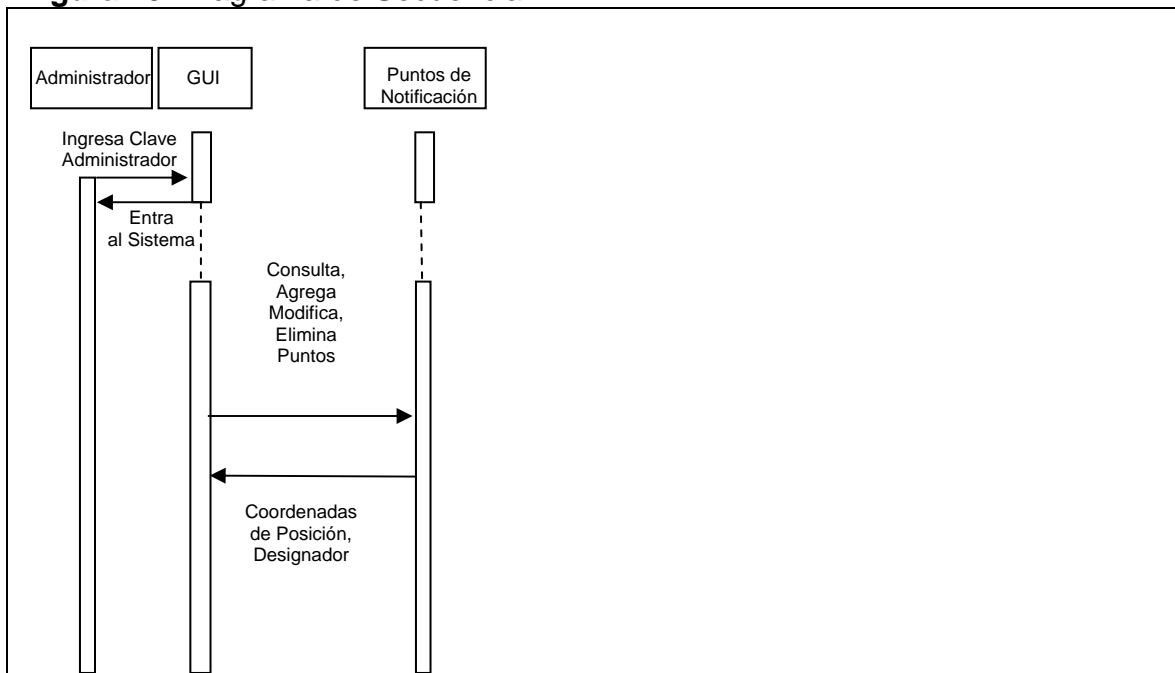
**2.8.1 Diagrama de Secuencia I.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre las Cartas de Aeródromo:

**Figura 14.** Diagrama de Secuencia I



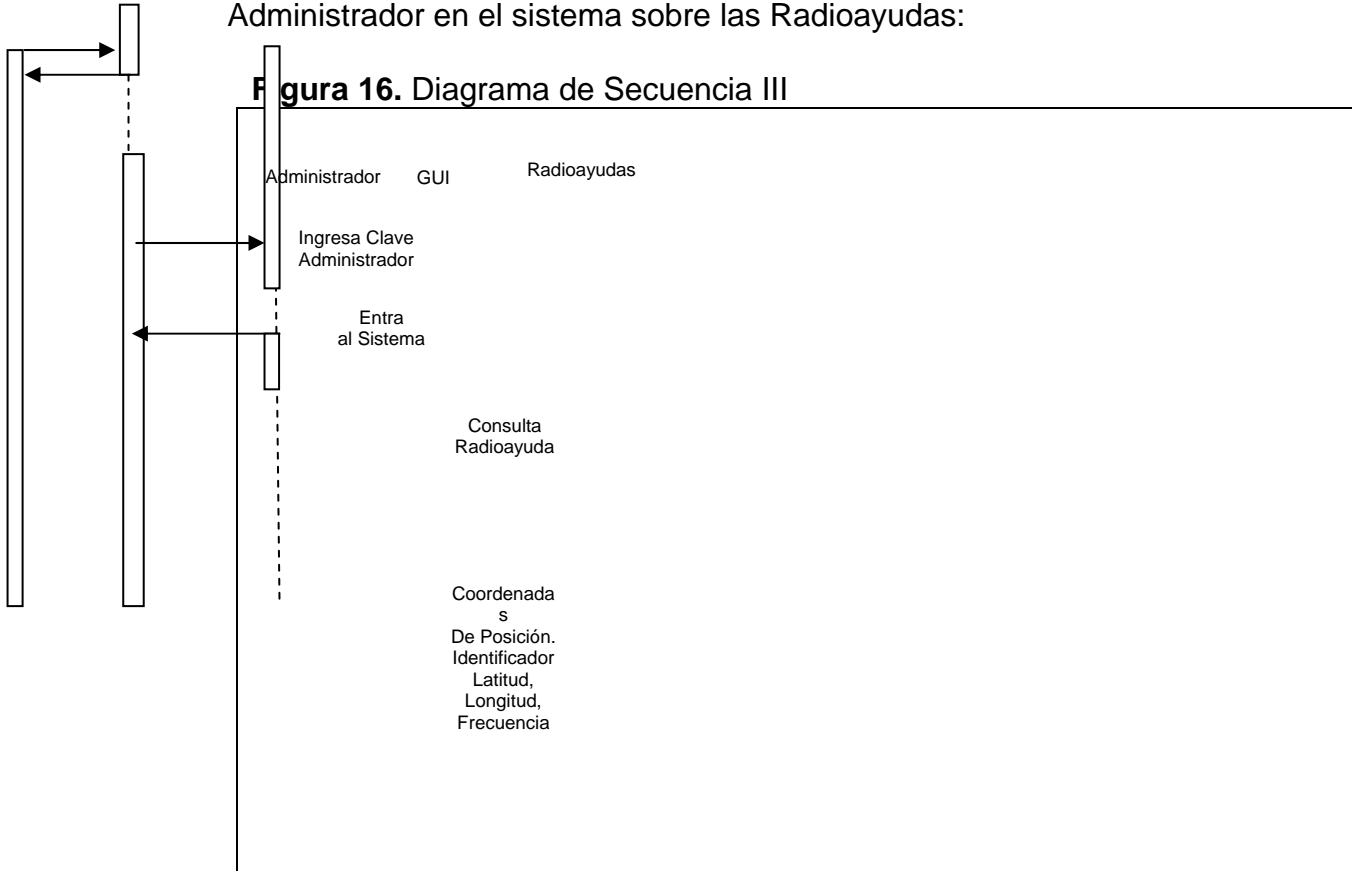
**2.8.2 Diagrama de Secuencia II.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre los Puntos de Notificación:

**Figura 15.** Diagrama de Secuencia II



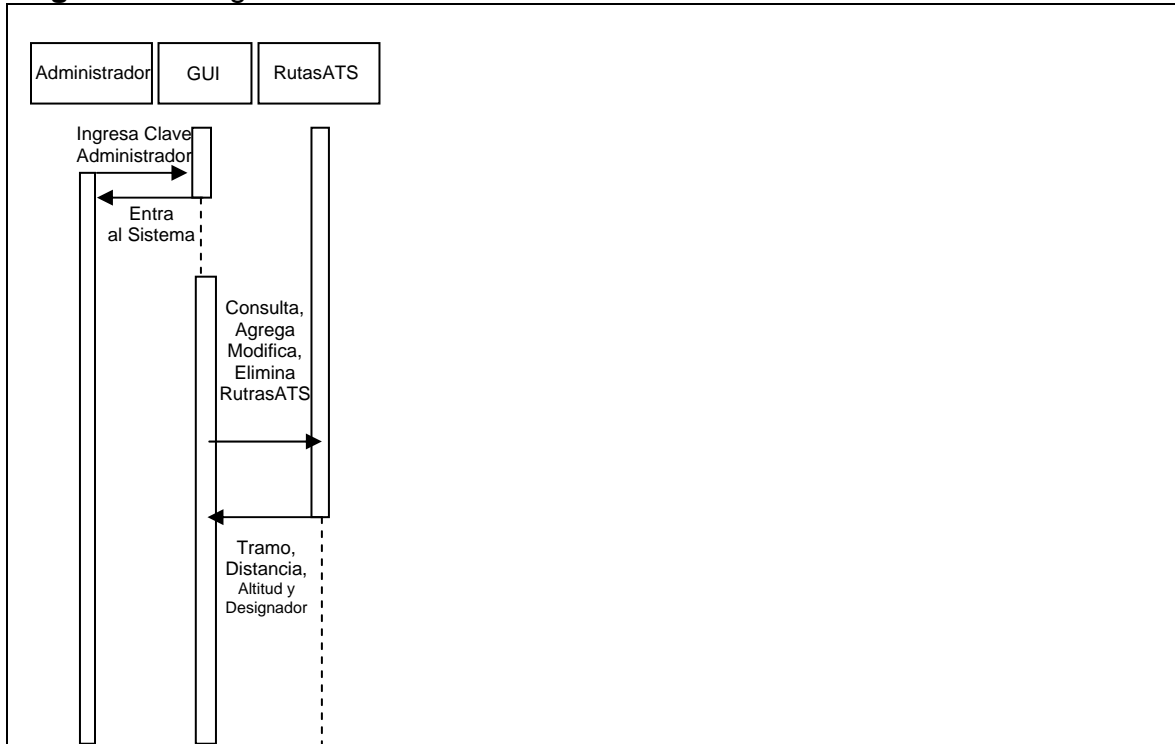
**2.8.3 Diagrama de Secuencia III.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre las Radioayudas:

**Figura 16.** Diagrama de Secuencia III



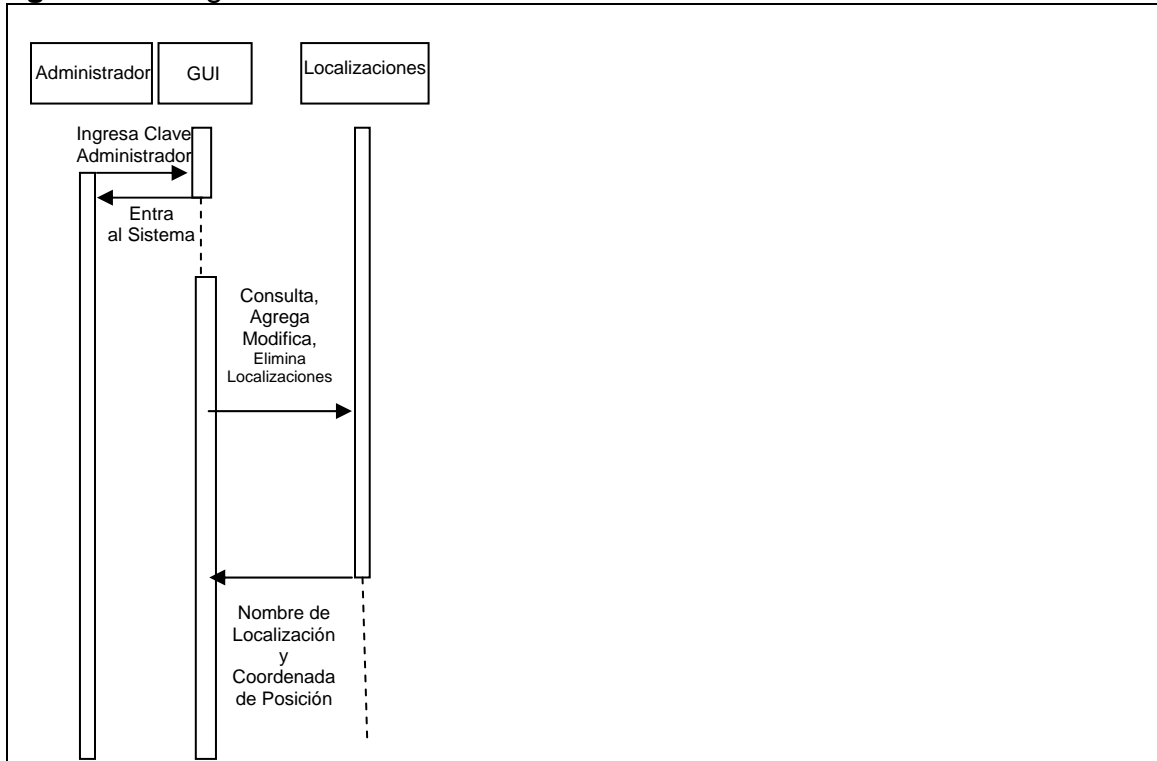
**2.8.4 Diagrama de Secuencia IV.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre las Rutas ATS:

**Figura 17.** Diagrama de Secuencia IV



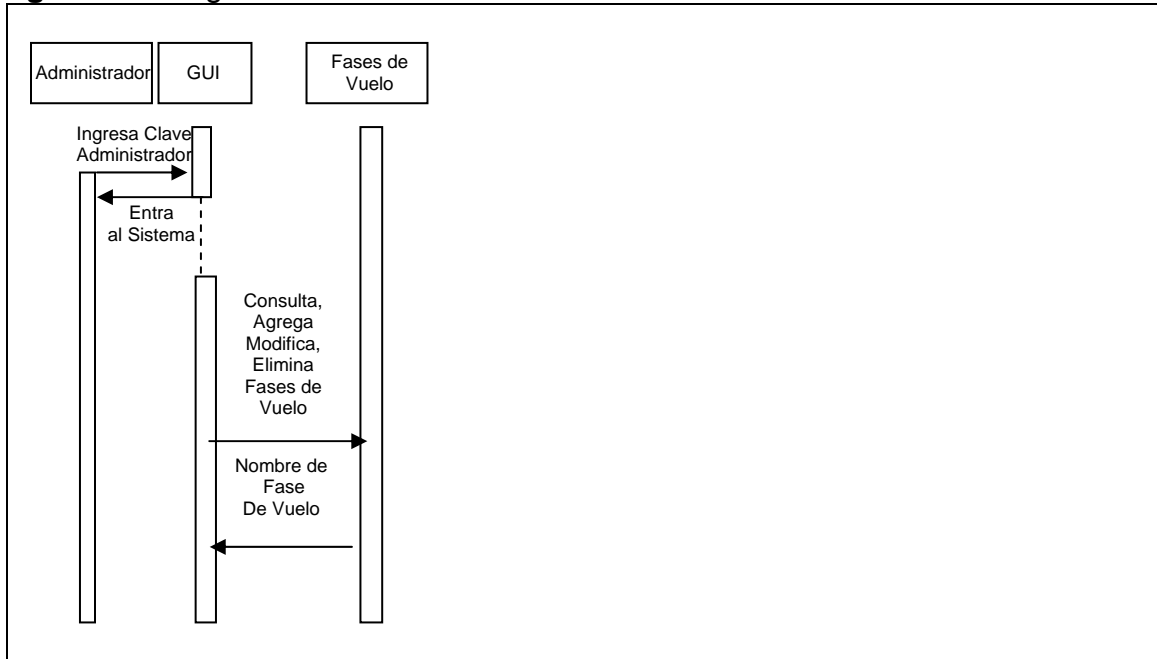
**2.8.5 Diagrama de Secuencia V.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre las Localizaciones:

**Figura 18.** Diagrama de Secuencia V



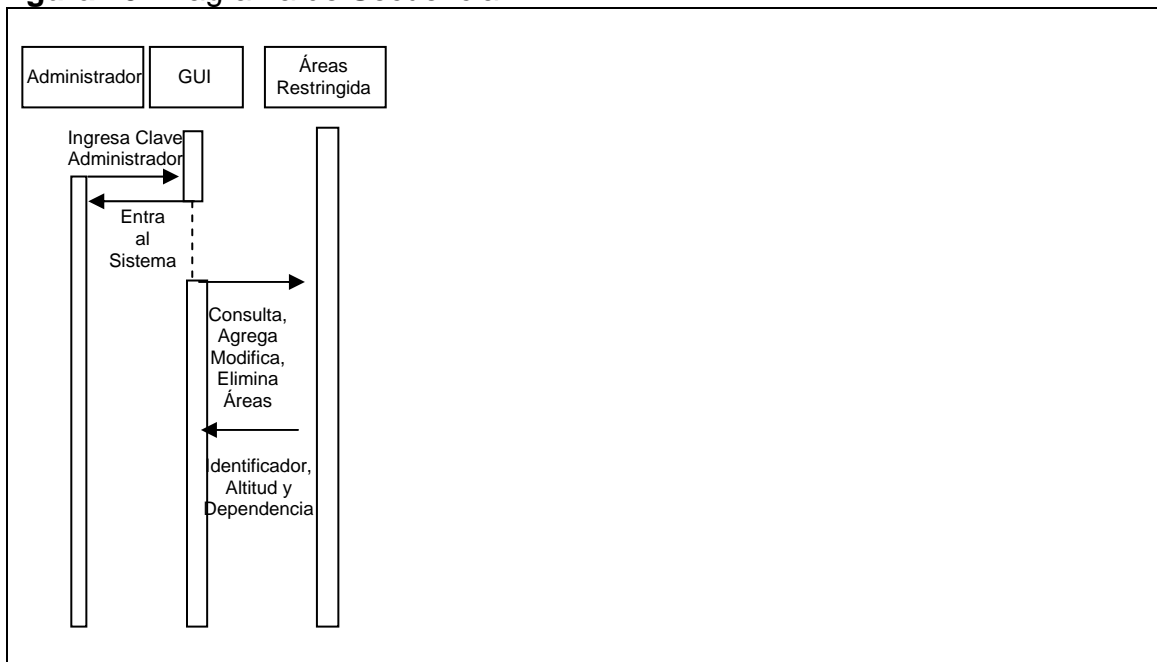
**2.8.6 Diagrama de Secuencia VI.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre las Fases de Vuelo:

**Figura 19.** Diagrama de Secuencia VI



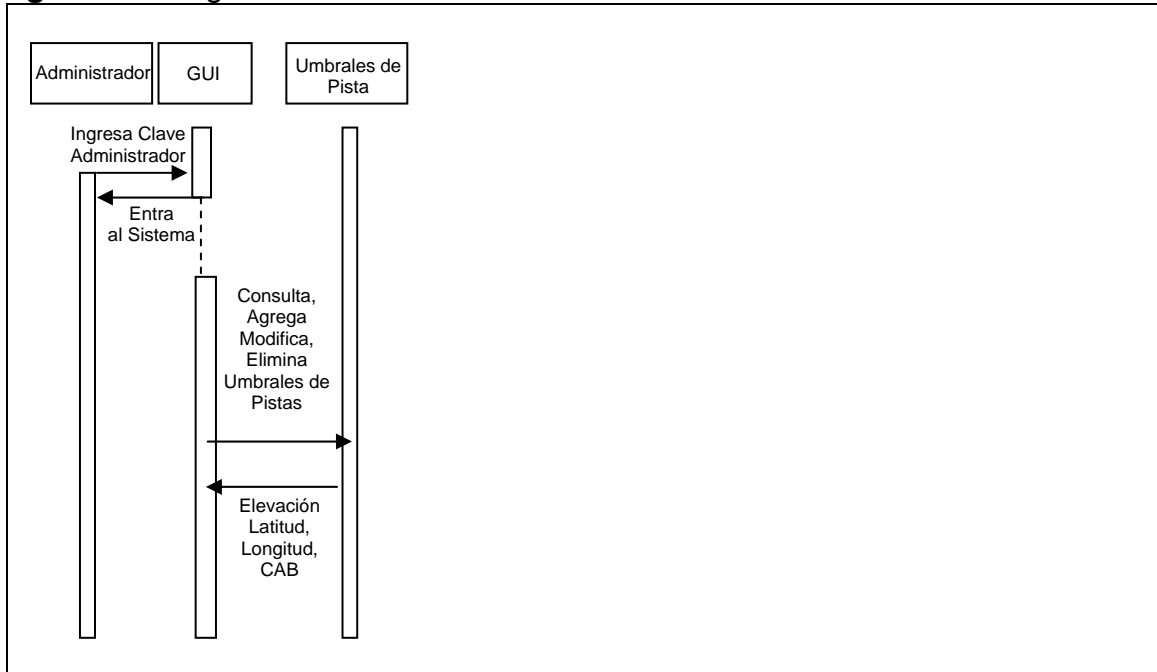
**2.8.7 Diagrama de Secuencia VII.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre las Áreas Restringidas:

**Figura 20.** Diagrama de Secuencia VII



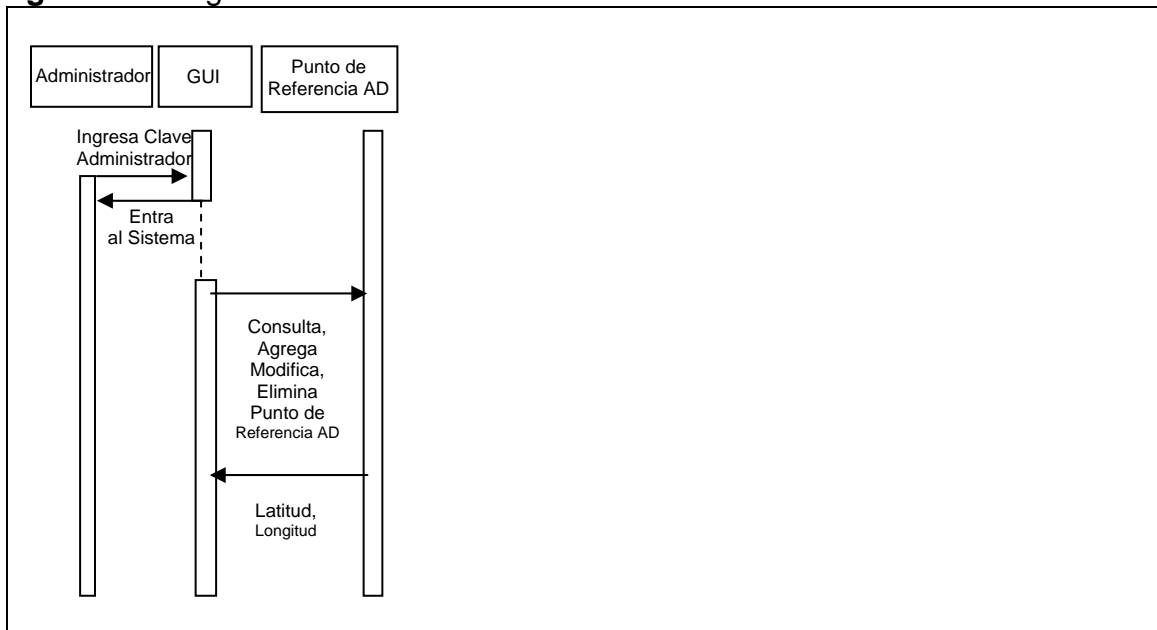
**2.8.8 Diagrama de Secuencia VIII.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre los Umbrales de Pista:

**Figura 21.** Diagrama de Secuencia VIII



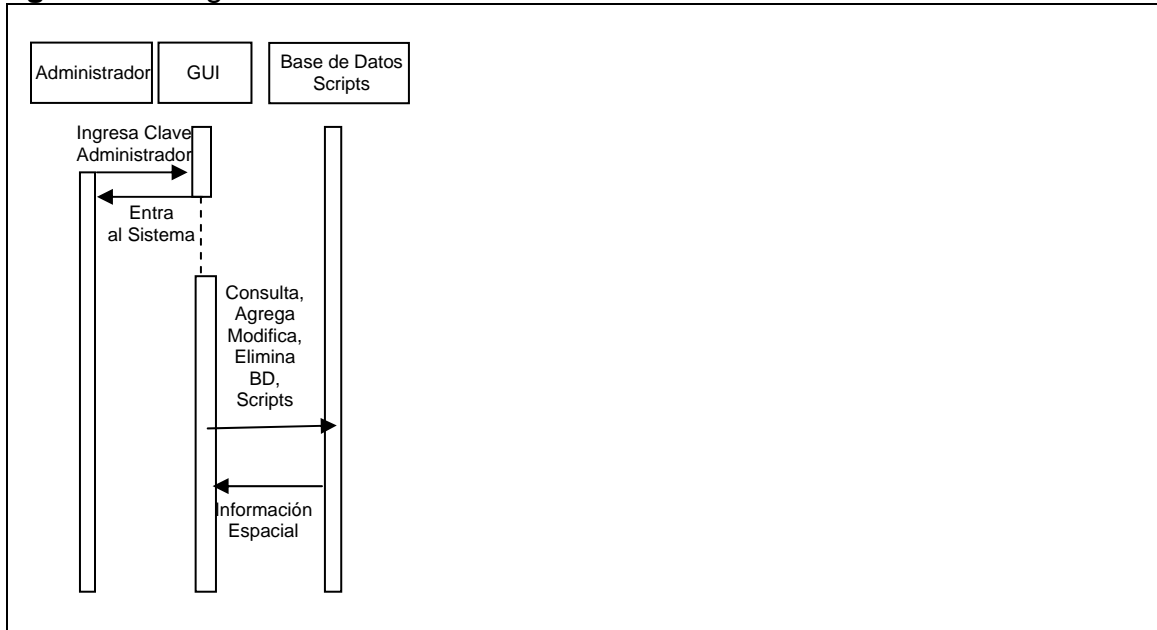
**2.8.9 Diagrama de Secuencia VIII.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre los Puntos de Referencia:

**Figura 22.** Diagrama de Secuencia IX



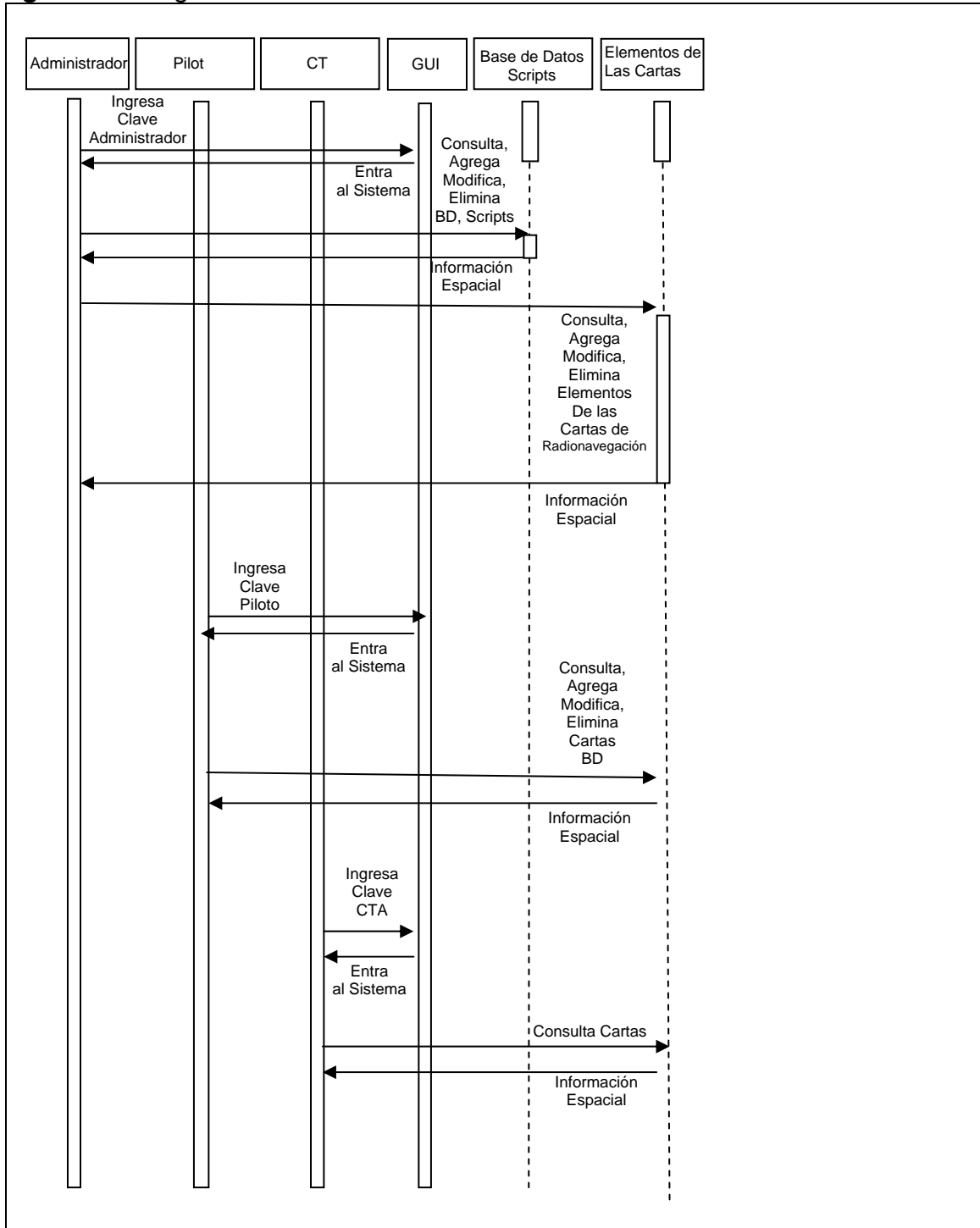
**2.8.10 Diagrama de Secuencia X.** Funciones que puede realizar el usuario Administrador en el sistema sobre la base de Datos:

**Figura 23.** Diagrama de Secuencia X

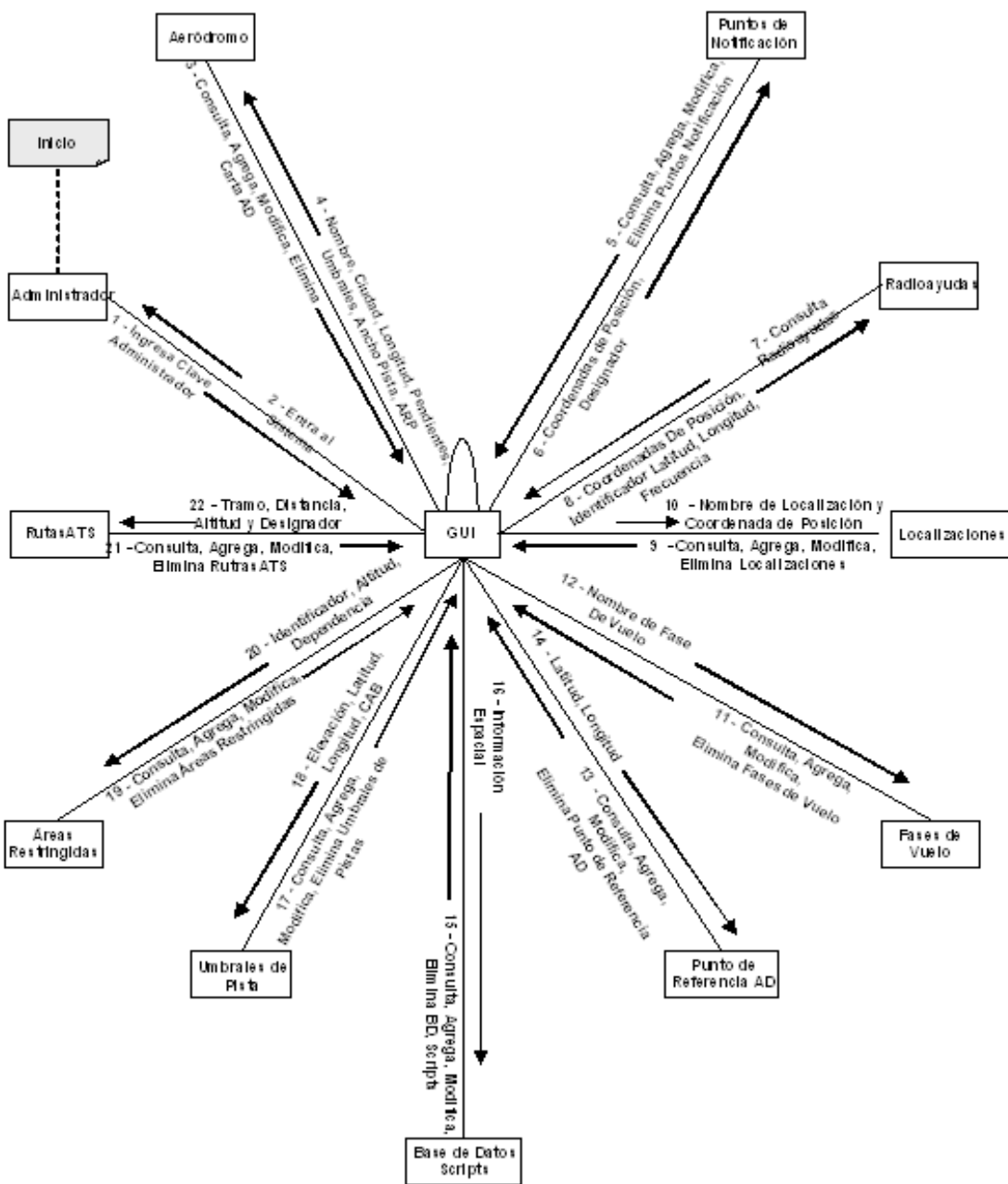


**2.8.11 Diagrama de Secuencia XI.** Funciones que pueden realizar los usuarios Administrador, Piloto Y CTA dentro del sistema sobre la aplicación y Base de Datos:

**Figura 24.** Diagrama de Secuencia XI

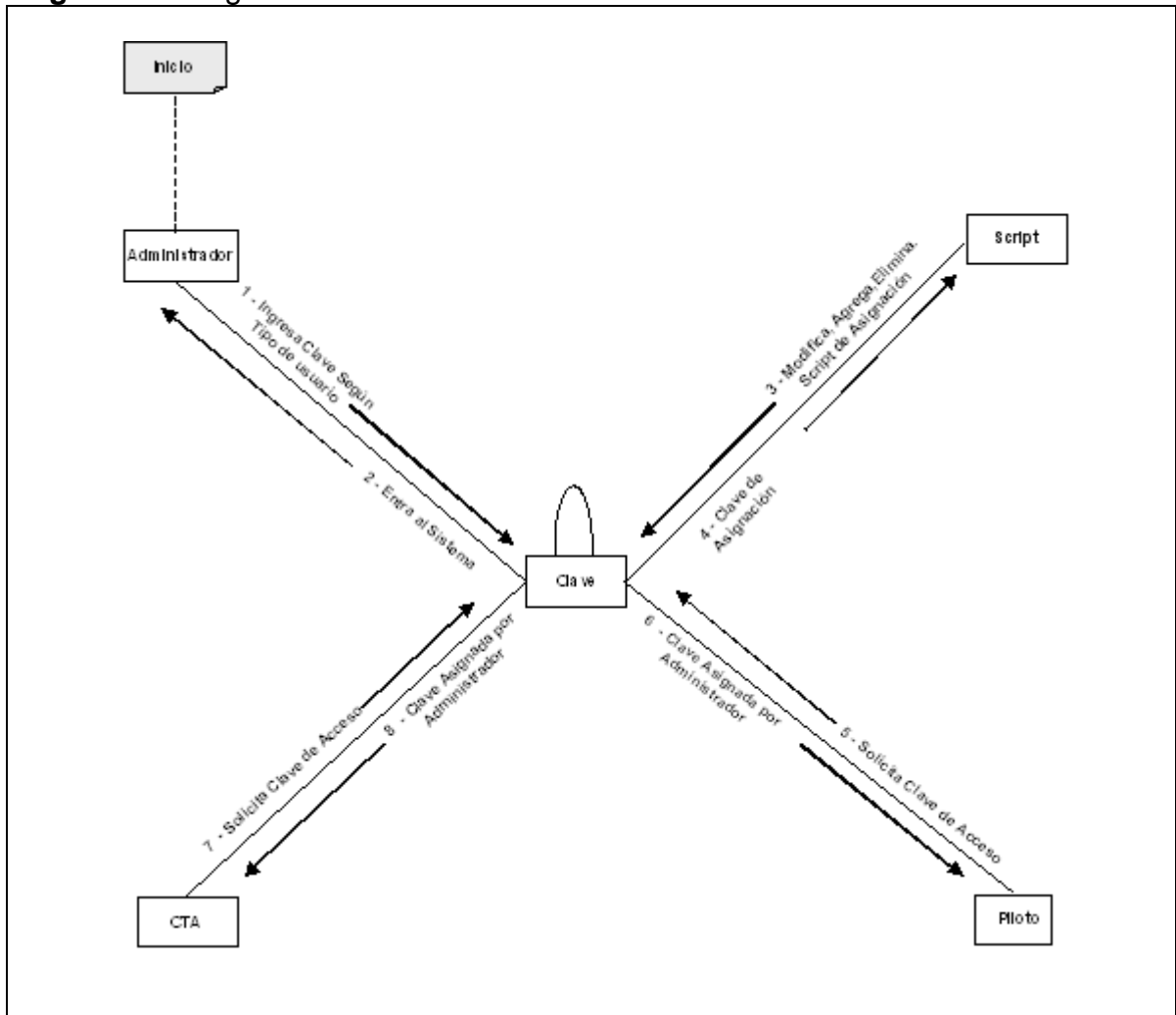






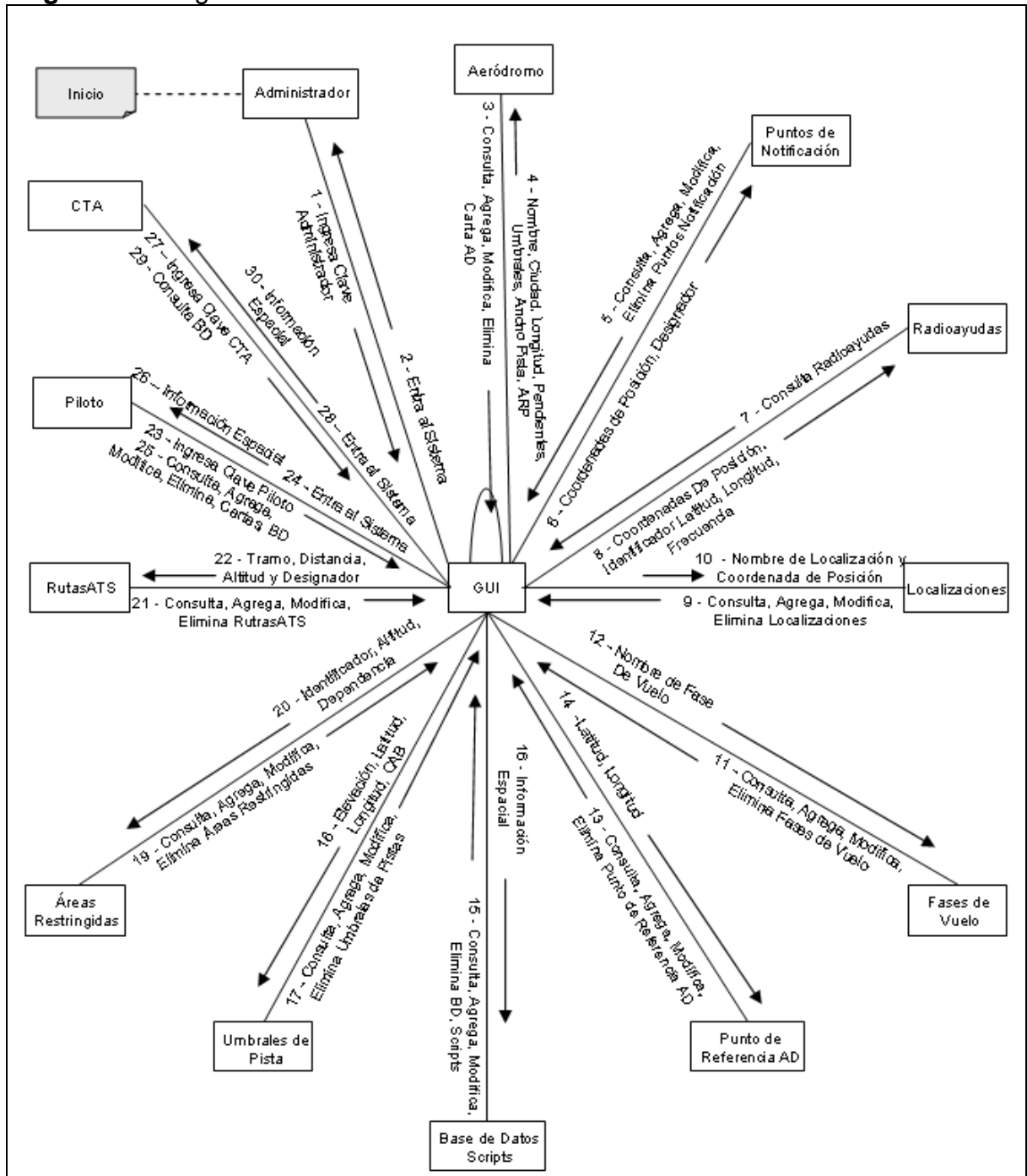
## 2.9.2 Diagrama de Colaboración II. Asignación de clave para Usuarios finales.

Figura 26. Diagrama de Colaboración II



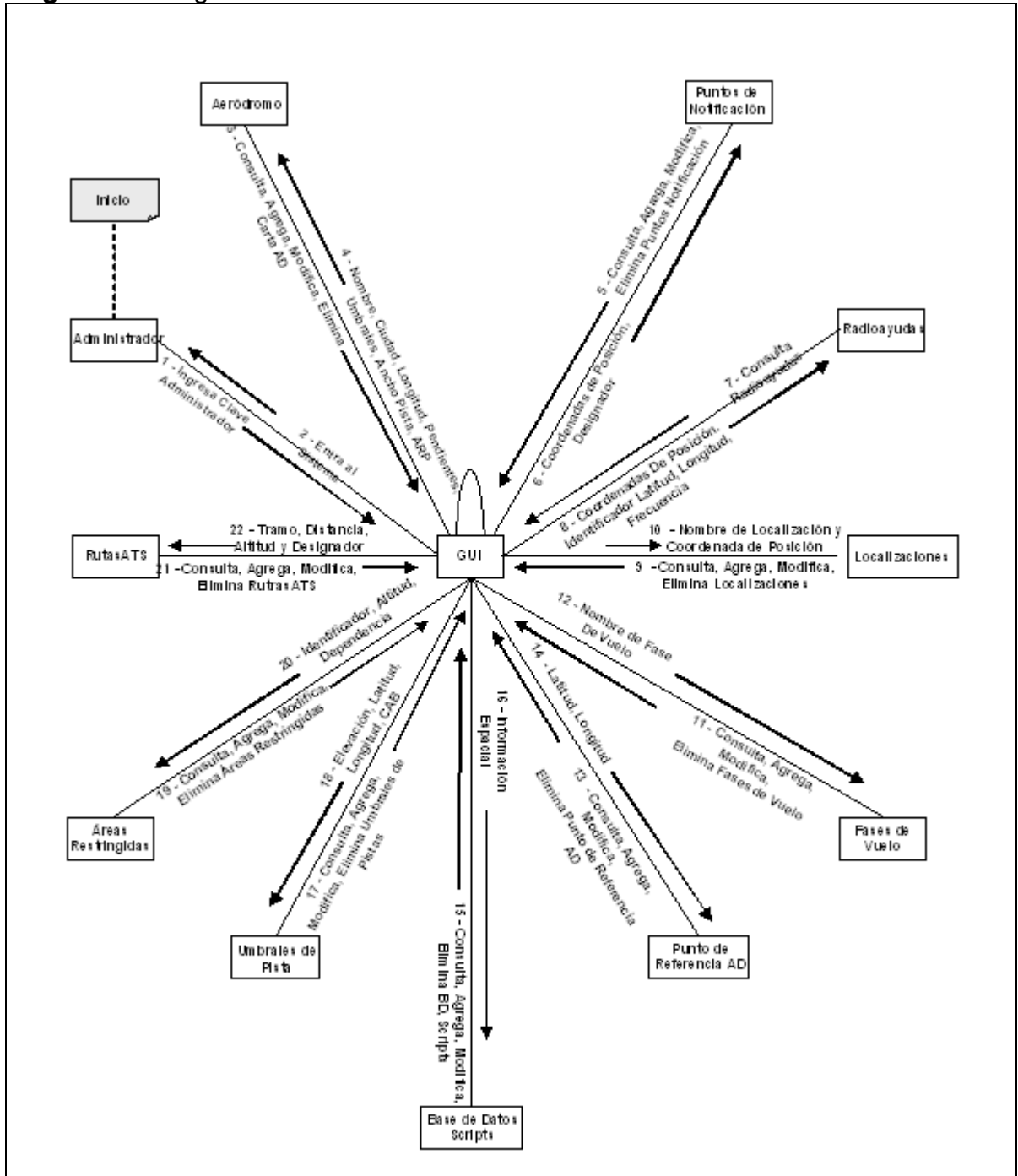
### 2.9.3 Diagrama de Colaboración III. Asignación de clave para Usuarios finales.

Figura 27. Diagrama de Colaboración II



**2.9.4 Diagrama de Colaboración IV.** Se describen los estados de un vuelo completo que realiza un piloto teniendo en cuenta las cartas necesarias según su fase de vuelo.

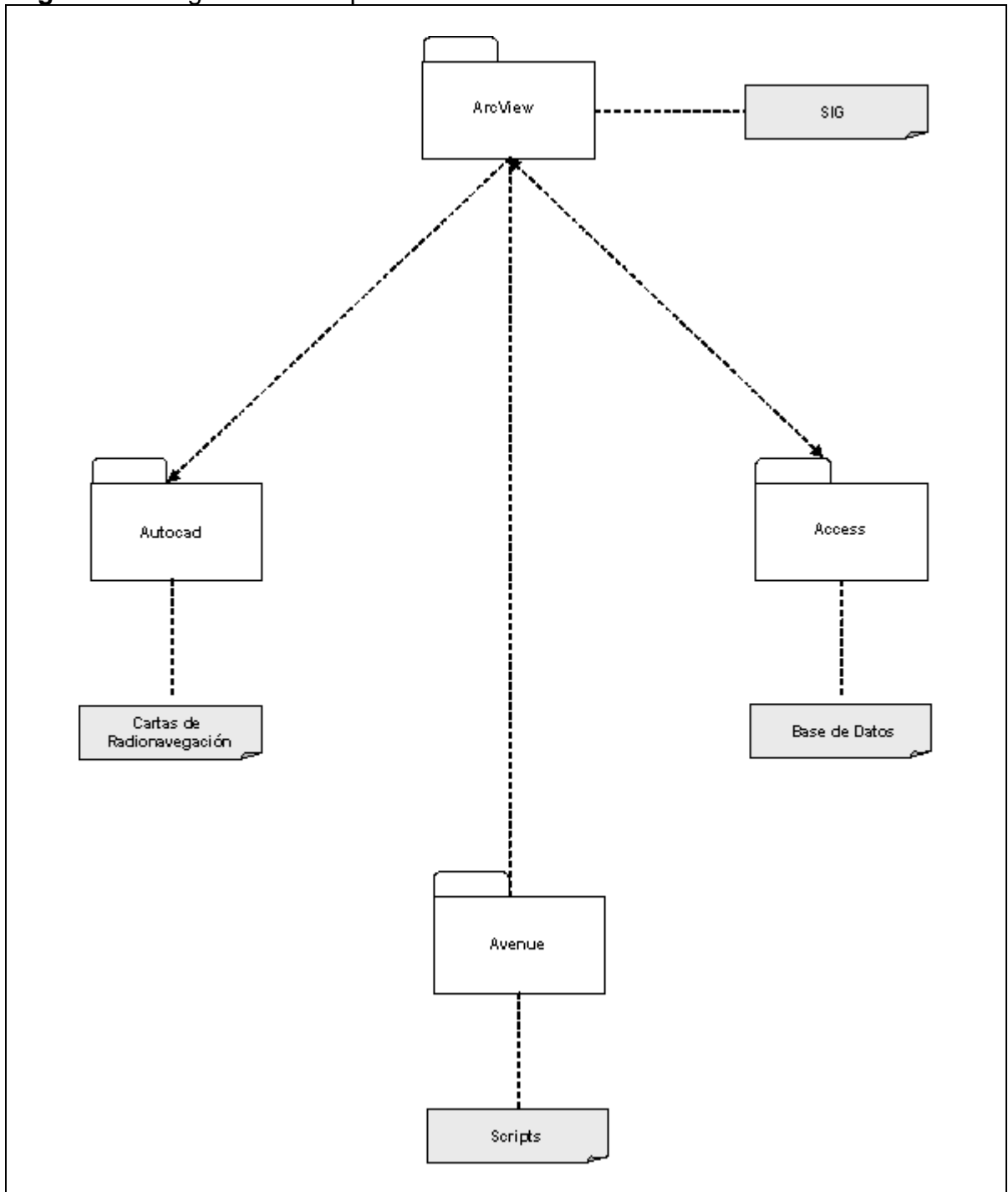
**Figura 28.** Diagrama de Colaboración IV



## 2.10 Fundamentación y Diseño de la Base de Datos

### 2.10.1 Diseño del Sistema

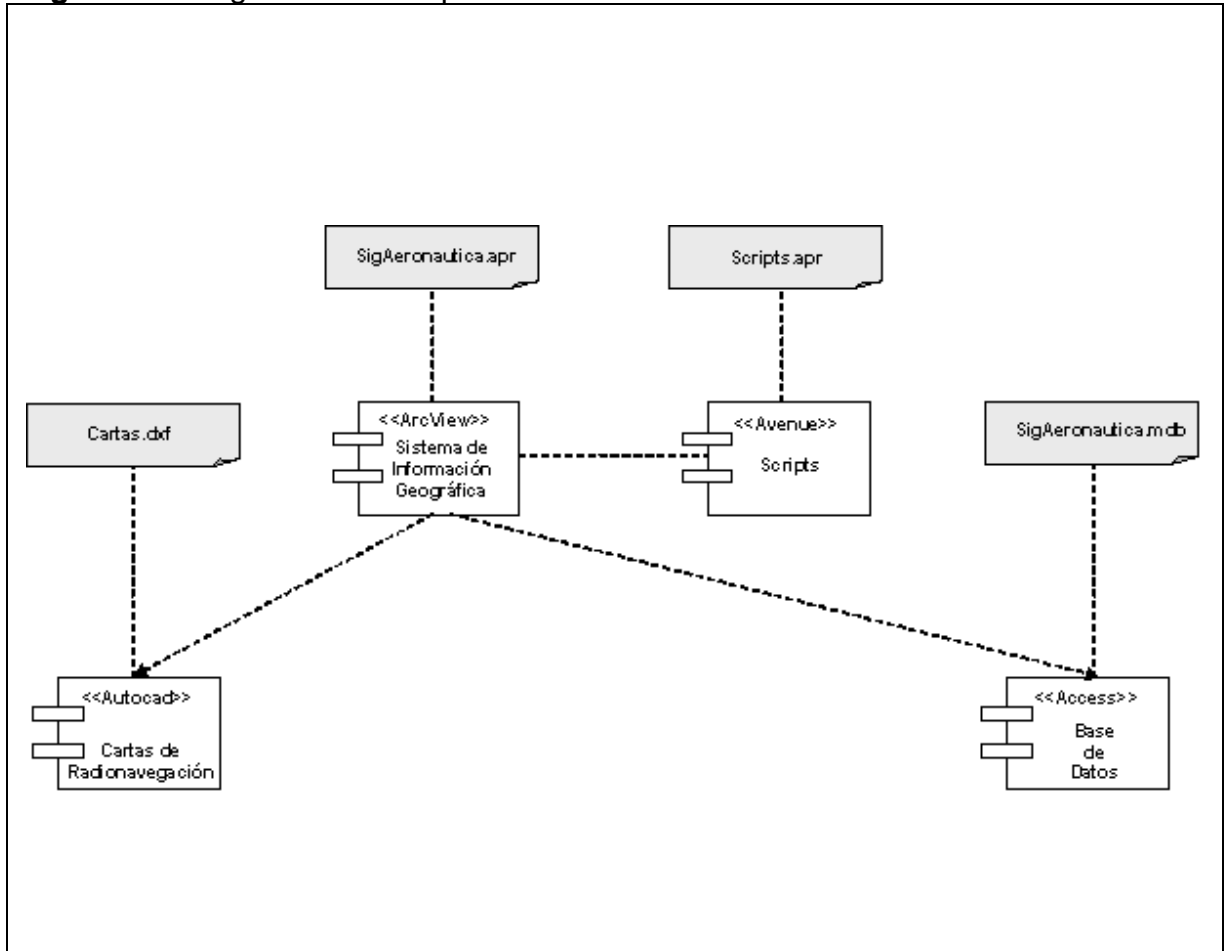
Figura 29. Diagrama de Paquetes



## 2.11 Diseño de Objetos

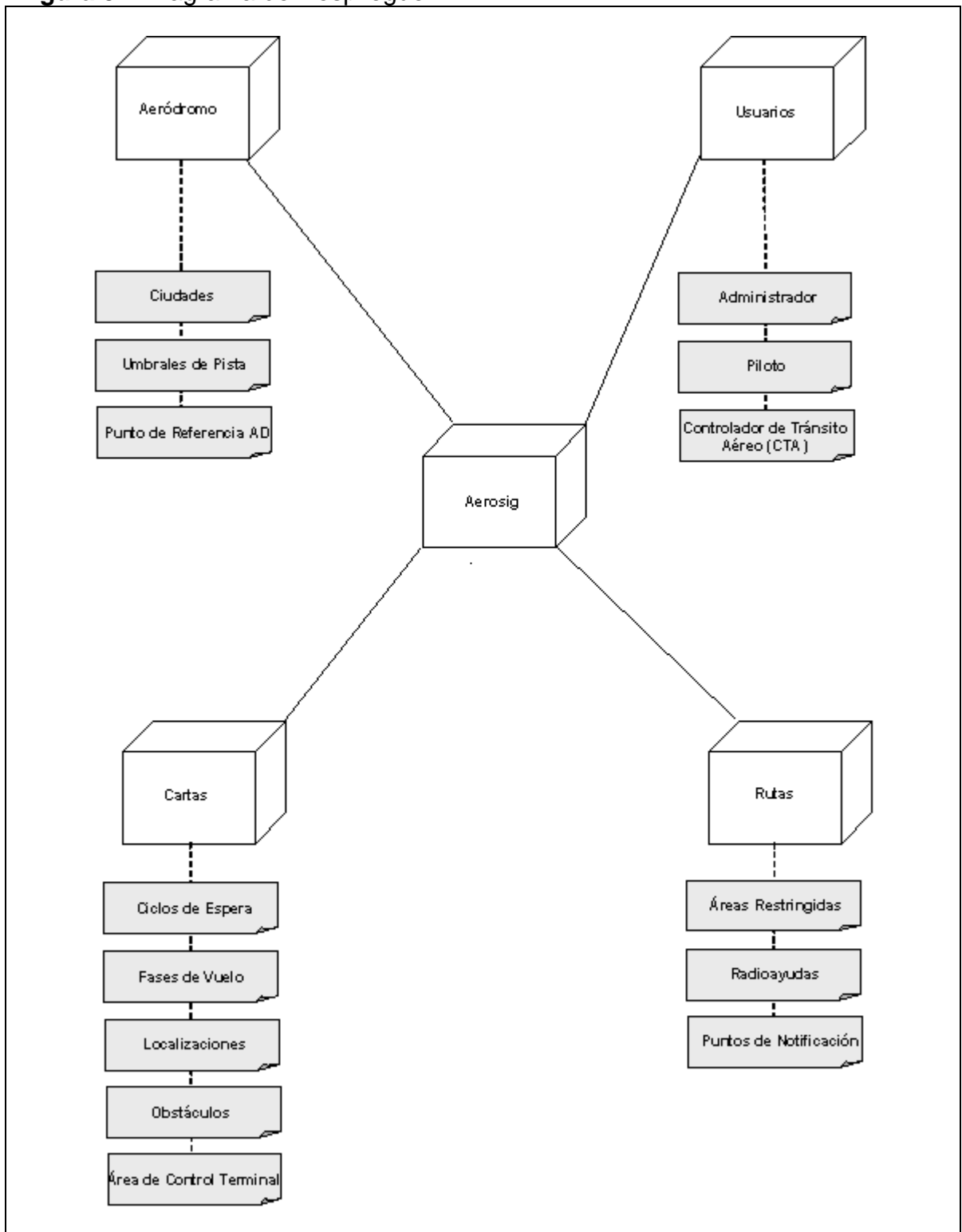
### 2.11.1 Diagramas de Implementación

Figura 30. Diagrama de Componentes



## 2.12 Diagrama de Implementación

Figura 31. Diagrama de Despliegue



### 3. CRITERIOS DE CALIDAD PARA EVALUAR AEROSIG

Se realizó una revisión de factores externos para determinar la calidad de la aplicación (AEROSIG).

Los resultados son producto del conocimiento adquirido con la creación, desarrollo, manipulación, prácticas y ensayos de la aplicación, es así como se definieron sus características de calidad con criterio propio gracias a la experiencia obtenida durante su manejo.

- **Corrección:** La aplicación devuelve la información de acuerdo a las consultas solicitadas y se visualizan claramente las cartas de radionavegación.
- **Robustez:** Este Software reacciona apropiadamente a las solicitudes del usuario final en plataformas como Windows 98 y Windows XP, únicamente de esta manera, proporciona un correcto funcionamiento de la aplicación.
- **Flexibilidad:** Debido a la simplicidad del código fuente que contiene el aplicativo, tiene la cualidad de adaptarse a nuevos cambios de personalización, además gracias a sus opciones de compilación y ejecución de scripts se hace fácil y rápida la detección de errores.
- **Compatibilidad:** El software empleado "ArcView 3.2", tiene la cualidad de poder integrar elementos de diferentes programas como Autocad 14 y Access. Acepta de la misma manera versiones más avanzadas de la Base de Datos.
- **Eficiencia:** Esta aplicación presenta ciertos tiempos de procesamiento prolongado, que son determinados según los procesos que el Usuario este llevando a cado. La rutina que presenta más tiempo de espera es la entrada a cada uno de los SubProyectos del Sistema. Esto debido a la cantidad de información geográfica que debe cargar y recopilar para cada SubProyecto.
- **Facilidad de uso:** Ofrece facilidad de manejo por su entorno gráfico, a las Consultas, Modificaciones y Actualizaciones del Sistema para los usuarios finales, determinando así un tiempo de respuesta inmediato.



- **Funcionalidad:** La aplicación contiene un menú acondicionado con una interfaz gráfica sencilla y adecuada para facilitar las operaciones de manejo de la aplicación.
- **Oportunidad:** Posee la cualidad de ser un nuevo aporte tecnológico en el área de la aeronáutica, que puede ser actualizado y mejorado a las necesidades del mercado.
- **Integridad:** El aplicativo es para uso de personal autorizado dentro de la administración de la empresa, además se requiere que la plataforma del sistema tenga una contraseña privada.
- **Reparabilidad:** En caso de fallas en la base de datos, se puede modificar en Access e inmediatamente ArcView 3.2 tomará los cambios, pero por el contrario si se requieren modificaciones gráficas como:
  - Eliminar elementos de la gráfica: habrá que borrarlos en Autocad 14 e importar la imagen desde Arcview 3.2.
  - Modificar o agregar elementos de la gráfica: habrá que digitalizar nuevamente en Autocad 14 e importar la imagen desde Arcview 3.2.
- **Economía:** Este Sistema es una gran herramienta de apoyo para la consulta de Cartas de Radionavegación, aunque requiere de licencias de ArcView 3.2 para su aplicación. En el caso de AEROSIG, los costos no son una limitante importante para que una institución cuente con un óptimo funcionamiento del SIG.

### 3.1 Algoritmos (Scripts):

Es importante aclarar que en el proceso de programación, ArcView cuenta con sus propios métodos o funciones, los cuales se aplican en el Sistema desarrollado. Por tal razón no se requirió de la creación de nuevas funciones, además las consultas y llamados realizados no tienen gran nivel de complejidad.

Debido a esto, en este caso de estudio no se aplican métricas de medición de algoritmos y por lo tanto no se conocen sus propias instrucciones. (Ing. Juan Pablo Giraldo).

A continuación se encuentran los **Scripts** utilizados en la aplicación, los cuales se realizaron en Avenue (lenguaje motor de programación orientado a objetos de ArcView 3.2):

**3.1.1 Conexión con Access.** Este script permite acceder a la base de datos desde ArcView a través de una opción del menú que se creó para los usuarios (administrador y piloto).

```
system.execute("C:\Program Files\Microsoft Office\Office10\msaccess.exe  
C:\ProyectoGrado\SigAeronautica.mdb")
```

**3.1.2. Abrir una vista.** Las siguientes 3 líneas permiten abrir cada una de las vistas que contienen las cartas de radionavegación utilizadas en el proyecto.

```
TheView=av.GetProject.FindDoc("Torol")  
theWindow = theView.GetWin  
theWindow.Open
```

**3.1.3. Abrir un dialogo.** Esta línea permite abrir los diálogos (presentaciones) creados en la aplicación.

```
aDialog = av.FindDialog("Presentacion").Open
```

**3.1.4. Abrir un proyecto (.apr).** Este código se emplea para abrir un nuevo proyecto. Es usado en esta aplicación debido a que se realizaron subdivisiones según las cartas de radionavegación para optimizar el tiempo, debido a que los elementos de las mismas en un solo modulo es de gran robustez.

```
theProject = av.GetProject  
if (nil <> theProject) then  
  if (theProject.IsModified) then  
    if (av.Run("Project.CheckForEdits",nil).Not) then  
      return nil  
    end  
    res = MsgBox.SaveChanges("Desea guardar cambios de " +  
theProject.GetName + " e ingresar a otro proyecto?", "ArcView", true)  
    if (nil = res) then return nil end  
    if (res) then  
      av.Run("Project.Save", nil)  
      if (theProject.IsModified) then return nil end  
    end  
  end  
  theProject.Close  
  theProject = nil  
end  
theFName = FileName.Make("C:\ProyectoGrado\laerosig.apr")  
Project.Open(thefname)
```

**3.1.5. Cerrar proyecto.** Líneas de código que cumplen con la tarea de cerrar un proyecto.

```
theProject = av.GetProject
theProject.Close
av.Quit
```

**3.1.6. Consulta de Rutas.** Al ejecutar este script en la pantalla que despliega se digita el identificador o código de la ruta empleado en la base de datos, si es correcto se resalta de amarillo la ruta indicada.

```
theView = av.getActiveDoc
thetheme=theview.FindTheme("Rutas ATS-Nacionales")
theFtab=theTheme.GetFtab
theBitmap=theFtab.GetSelection
theid=MsgBox.Input("Digite numero de Id", "Consultar Rutas", "")
if (theid=Nil) then
  exit
end
'expr= "[Id] = ""theid.AsString""
expr= "[Id] =" +theid+"")
'MSGBOX.INFO(expr.AsString, " ")
theFtab.Query(expr, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)
TheFtab.UpdateSelection
'theFld1=theFtab.FindField("Ruta")
'theRoute=TheFtab.ReturnValue(theFld1, theRec)
'msgbox.Info(theRoute, "Titulo")
```

**3.1.7. Consulta de Radioayudas** Esta consulta despliega una ventana con un combo de opciones con los tipos de radioayudas. Eligiendo el tipo deseado se resaltarán de amarillo las radioayudas existentes en la carta abierta.

```
TheView=av.getActiveDoc
thetheme=theview.FindTheme("Radioayudas")
theFtab=theTheme.GetFtab
theBitmap=theFtab.GetSelection
theList={"VOR", " VORDME ", "VORDME/NDB", "NDB"}
theVar=MsgBox.ChoiceAsString (theList, "Seleccione Tipo de radioayuda", "TIPOS DE RADIOAYUDA")
if (theVar=Nil) then
  exit
end
expr= "[tipo] = ""+theVar+""")
'MSGBOX.INFO(expr.AsString, " ")
theFtab.Query(expr, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)
```

*TheFtab.UpdateSelection*

**3.1.8. Crea un (Archivo de almacenamiento de información Georeferenciada) de puntos a partir de coordenadas geográficas.** Despliega las opciones para ingresar la latitud y longitud para la ubicación del punto a crear, puede ser una radioayuda o un punto de notificación según el caso.

```
theView= av.GetActiveDoc
N_Puntos=msgBox.Input("Cuantos puntos desea crear?","Número de puntos", "1")
if (N_Puntos=Nil) then Return Nil end
asN = N_Puntos.AsNumber
theView= av.GetActiveDoc
IstPoint={}
labels = {"Latitud", "Longitud"}
defaults ={}
IstVertices={}
theEnd=asN-1
cont=1
for each n in 0..theEnd
  IstVertices=msgBox.MultInput("Ingrese coordenadas del punto
"+cont.AsString,"Coordenadas lat,lon",labels,defaults)
  if (IstVertices.Count=0) then Return Nil end
  myPoint=Point.Make((IstVertices.Get(0)).AsNumber,(IstVertices.Get(1)).AsNumber
)
  IstPoint.Add(myPoint)
  cont=cont+1
end
aNw_aExist=msgBox.ListAsString({"Shape Nuevo","Shape Existente"},"Elija si
quiere crear un nuevo Shape"+
" o adicionará el punto a uno existente","Shape para adicionar
punto")
if (aNw_aExist="Shape Nuevo") then

  nwName="c:\ProyectoGrado\shapefile\nom_shape.shp"
  flName = FileName.Make(nwName)
  flOutput = FileDialog.Put( flName,"*.shp","ShapeFile de salida" )
  if (flOutput = nil) then exit end

  flOutput.SetExtension("shp")
  ftabOutput = FTab.MakeNew( flOutput, POINT )
  ftabOutput.AddFields({Field.Make("ID", #FIELD_LONG, 8, 0)})
  theSrcName = SrcName.Make(flOutput.AsString)
  theTheme = theme.Make(theSrcName)
  theView.AddTheme(theTheme)
  theTheme=theView.GetThemes.Get(0)
```

```

else
  theTheme=msgBox.Choice(theView.GetThemes,"Seleccione Tema de
Puntos","Seleccionar tema")
  if (theTheme=Nil) then Return Nil end
end
theField = theTheme.GetFTab.FindField("Shape")
if (theField.GetType <> #FIELD_SHAPEPOINT) then
  MsgBox.Info("El tema debe contener PUNTOS.,"PROCESO DETENIDO ")
  return(nil)
end
'theView.SetUnits(#UNITS_LINEAR_METERS)
'theView.GetDisplay.SetDistanceUnits(#UNITS_LINEAR_METERS)
theFtab=TheTheme.GetFtab
theFtab.SetEditable(true)
i=0
for each rec in lstPoint
  rec=theFtab.addRecord
  theFtab.SetValue(theField,rec,lstPoint.Get(i))
  i=i+1
end
theFtab.SetEditable(False)

```

**3.1.9. Crea una polilínea (ruta) a partir de coordenadas.** Script que permite crear una o más rutas si es requerido. Inicialmente pregunta el número de vértices y posteriormente las coordenadas geográficas donde se crearía.

```

theView= av.GetActiveDoc
N_Vertices=msgBox.Input("Cuantos vértices tiene la línea?","Número de Vértices",
"2")
if (N_Vertices=Nil) then Return Nil end
asN=N_Vertices.AsNumber
if (asN < 2) then
  MsgBox.Error("Una polilínea debe tener dos (2) vértices como mínimo!","Proceso
detenido")
  Return Nil
end
lstPoint={}
labels = {"Latitud","Longitud"}
defaults ={}
lstVertices={}
theEnd=asN-1
cont=1
for each n in 0..theEnd
  lstVertices=msgBox.MultiInput("Ingrese coordenadas geográficas del vértice
"+cont.AsString+" de la polilínea","Coordenadas lat,lon",labels,defaults)

```

```

if (lstVertices.Count=0) then Return Nil end
yPoint=Point.Make((lstVertices.Get(0)).AsNumber,(lstVertices.Get(1)).AsNumber)
lstPoint.Add(myPoint)
cont=cont+1
end
myPLine = PolyLine.Make({lstPoint})
aNw_aExist=msgBox.ListAsString({"Shape Nuevo","Shape Existente"},"Elija si
quiere crear un nuevo Shape"+
" o añadirá la polilínea a uno existente","Shape para añadir
polilínea")
if (aNw_aExist="Shape Nuevo") then

nwName=" c:\ProyectoGrado\shapefile\nom_shape.shp"
flName=FileName.Make(nwName)
flOutput=FileDialog.Put( flName,"*.shp","ShapeFile de salida" )
if (flOutput = nil) then exit end
flOutput.SetExtension("shp")
ftabOutput = FTab.MakeNew( flOutput, POLYLINE )
ftabOutput.AddFields({Field.Make("ID", #FIELD_LONG, 8, 0)})
theSrcName = SrcName.Make(flOutput.AsString)
theTheme = theme.Make(theSrcName)
theView.AddTheme(theTheme)
theTheme=theView.GetThemes.Get(0)
else
theTheme=msgBox.Choice(theView.GetThemes,"Seleccione Tema de
Polilíneas","Seleccionar tema")
if (theTheme=Nil) then Return Nil end
end
theField = theTheme.GetFTab.FindField("Shape")
if (theField.GetType <> #FIELD_SHAPELINE) then
MsgBox.Info("El tema debe contener polilíneas.", "PROCESO DETENIDO ")
return(nil)
end
'theView.SetUnits(#UNITS_LINEAR_METERS)
'theView.GetDisplay.SetDistanceUnits(#UNITS_LINEAR_METERS)
theFtab=TheTheme.GetFtab
theFtab.SetEditable(true)
rec=theFtab.addRecord
theFtab.SetValue(theField,rec,MyPLine)
theFtab.SetEditable(False)

```

**3.1.10. Asignar\_clave.** Script usado para generar las claves a asignar a cada usuario del sistema. La función *GetSerialNumber* toma el número serial de la licencia de ArcView existente en la Institución que adquiere el software y se multiplica por un número dando como resultado un entero de 7 dígitos diferente y

único para cada usuario. El manejo de este script es permiso solo del usuario Administrador.

```
theProject= av.GetProject
a=av.GetSerialNumber
b=((a.AsNumber*7)).sqrt
b.SetFormat( "dd" )
MsgBox.Info("La clave asignada es: "+b.AsString,"")
```

**3.1.11. Clave de acceso.** Script que valida la contraseña que ingresa cada usuario, si es correcta ingresa con éxito a la aplicación de lo contrario ArcView se cierra. No existe la opción de ingresar de nuevo la clave en caso de que la que digite sea errónea con fines de seguridad.

```
theProject= av.GetProject
GW = av.FindDialog("Presentacion")
GW.Open
a=av.GetSerialNumber
b=((a.AsNumber*7)).sqrt
b.SetFormat( "dd" )
'MsgBox.Info("El número serial de su aplicación es: "+a,"")
clave = MsgBox.Password
if (Clave = b.AsString) then
  MsgBox.Info("Bienvenido a AEROSIG", " ")
else
  MsgBox.Info("Clave incorrecta se cierra el programa", " ")
  salir = av.Run("cerrar","")
  exit
end
GW.Close
```

**3.2 Herramientas (justificaciones).** Las herramientas empleadas para el desarrollo de la aplicación fueron: Access 97, AutoCad V.14, ArcView GIS v 3.2 y Avenue.

Se utilizó AutoCad V14 pero se debe tener en cuenta que el autocad desde cualquiera de sus versiones permite exportar al dxf, el cual es un formato que puede ser trabajado en el ArcView sin ningún inconveniente, además se requieren convertir las imágenes dxf en shapefiles para poder manipular sus atributos y enlazarlas con las tablas de la base de datos. Por otro lado Avenue es el lenguaje de programación de la versión 3.2 de ArcView y se usa para tareas específicas de diseño de interfaz gráfica.

**3.3 Requerimientos del Sistema.** Características recomendadas para la pc

Sistema Operativo: Windows 98/XP.

Procesador: Pentium IV 2000 MHz.

Memoria RAM: 256 MB.

Disco Duro: 1 GB de espacio libre en el disco.

Programas requeridos: ArcView GIS v 3.2, Microsoft Access, Autocad v14

Monitor: Para visualizar los mapas clara y dinámicamente es recomendable un monitor de 17”.



#### 4. PRUEBAS DE DESEMPEÑO PARA EVALUAR AEROSIG

Mediante el proceso de evaluación en cuanto al desempeño del Sistema se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Comentarios:
  - **BackUps:** Copia de Seguridad de las tablas que conforman la Base de Datos para evitar la pérdida de Información Aeronáutica.
  - **Comunicación:** Esta cualidad debe ser permanente y claro entre el Usuario final y la Aplicación de esta se conoce el Sistema y se pueden generar reportes actualizados.
  - **Usuario:** Estos deben tener conocimientos básicos de Sistemas para comprender la aplicación de los manuales.
  - **Procesador:** El procesamiento de la información es ejecutado por un solo Servidor, por lo tanto no es necesario una Red de Datos para el manejo de información.
  - **Rendimiento:** Presenta tiempos diferentes y prolongados en ciertos procesos de ejecución. Esto se da en la carga inicial del Sistema y en la carga de cada proyecto, debido a la fuerte carga de información que presenta el SIG.
  - **Interacción:** El SIG no es completamente individual del Usuario. Esto quiere decir que la información es interactuada entre Usuario final y Sistema.
  - **Actualización:** Se realiza en el momento que se requiera agregar nueva información en el Sistema, con el fin de mantener la información aeronáutica confiable y coherente.
  - **Interfaz Grafica:** El entorno grafico contempla un tiempo de respuesta inmediata a las peticiones finales del Usuario de forma sencilla y optima, sin presentar saturación en el Sistema.

## ANEXO B

### 1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

En el proceso de desarrollo del Sistema de información geográfica con propósitos aeronáuticos para Colombia se llevó a cabo el uso de los siguientes términos tomados del “*Reglamento Servicio de Tránsito Aéreo*”:

- **Access:** Es un programa para la creación y manipulación de bases de datos.
- **Aeronáutica:** navegación aérea y conjunto de medios (aeronaves, instalaciones, servicios, personal, etc.) destinados al transporte aéreo.
- **Aeródromo:** Es toda área delimitada, terrestre o acuática habilitada por la autoridad aeronáutica y destinada a la llegada, salida y maniobra de aeronaves en la superficie.
- **Aeródromo AFIS:** Aeródromo no controlado en el que se facilita servicio de información de vuelo y alerta a todas las aeronaves que se dirijan a aterrizar o se propongan despegar de dicho aeródromo.
- **Aeródromo controlado:** Aeródromo en que se facilita servicio de control de tránsito aéreo para el tránsito del aeródromo. La expresión "aeródromo controlado" indica que se facilita el servicio de control de tránsito aéreo para el tránsito del aeródromo, pero no implica que tenga que existir necesariamente una zona de control.
- **Análisis:** Es la interpretación y conceptualización de un problema.
- **ArcView:** Herramienta para el desarrollo de sistemas de información geográfica en el cual se pueden cargar diferentes tipos de datos que estén relacionados geográficamente.
- **AutoCad:** Programa para el diseño asistido por computador (CAD) y generar modelos con características determinadas y/o específicas.
- **Aviación:** Es una aplicación de la aeronáutica dedicada a la práctica de vuelo de las aeronaves.

- Aviación Civil: Entidad especialista en aspectos inherentes a la navegación aérea.
- Aviación comercial: La que engloba la operación de líneas aéreas regulares y chárter.
- Aviación general: Se refiere a las siguientes formas de vuelo: deportivo, privado, publicitario, ejecutivo, de enseñanza y de fumigación.
- Aviación militar: La cual incluye todos los vuelos realizados por las fuerzas aéreas: estratégicos, tácticos y logísticos.
- Base de datos: Conjunto de archivos de datos organizados de manera estructurada para facilitar la extracción de datos para aplicaciones específicas.
- Cartografía o trazado de mapas: Conjunto de técnicas empleadas para la realización de mapas.
- Calidad: Todas las características de una entidad que se refieren a su capacidad para satisfacer necesidades establecidas e implícitas.
- Calidad de los datos: Grado o nivel de confianza de que los datos proporcionados satisfarán los requisitos del usuario de datos en lo que se refiere a exactitud, resolución e integridad.
- Calle de rodaje: Vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo:
  - a) Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave.  
La parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada a proporcionar acceso a los puestos de estacionamiento de aeronaves solamente.
  - b) Calle de rodaje en la plataforma.  
La parte de un sistema de calles de rodaje situada en una plataforma y destinada a proporcionar una vía para el rodaje a través de la plataforma.
  - c) Calle de salida rápida.  
Calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje de salida y logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible.

- Calle de rodaje aéreo: Trayectoria definida sobre la superficie destinada al rodaje aéreo de los helicópteros.
- Canal de frecuencias: Porción continua del espectro de frecuencia, apropiada para la transmisión en que se utiliza un tipo determinado de emisión.
- Carta aeronáutica: Representación de una porción de la tierra, su relieve y construcciones, diseñada especialmente para satisfacer los requisitos de la navegación aérea.
- Categoría: Cuando el término se emplea con referencia a la certificación de aeronaves, significa una clasificación de éstas en base a su utilización y/o limitaciones de operación, los ejemplos incluyen: normal, utilitaria, acrobática, limitada, restringida, transporte, primaria.
- Categoría de aeronave: Clasificación de las aeronaves de acuerdo con características básicas especificadas tales como: avión, helicóptero, planeador y aeróstato.
- Categoría del vuelo: Indicación respecto a si las dependencias de los Servicios de Tránsito Aéreo deben conceder o no trato especial a una aeronave dada.
- Centro de comunicaciones: Estación Fija Aeronáutica que retransmite tráfico de telecomunicaciones de otras (o a otras) estaciones fijas aeronáuticas conectadas directamente con ella.
- Centro de control de área (ACC): Dependencia establecida para facilitar servicio de control de tránsito aéreo a los vuelos controlados en las áreas de control bajo su jurisdicción.
- Centro de información de vuelo (FIC): Dependencia establecida para facilitar servicio de información de vuelo y servicio de alerta.
- Circuito de tránsito de aeródromo: Trayectoria especificada que deben seguir las aeronaves al evolucionar en las inmediaciones de un aeródromo.
- Circuito fijo aeronáutico: Circuito que forma parte del servicio fijo aeronáutico.
- Circuito oral directo ATS: Circuito telefónico del Servicio Fijo Aeronáutico, para el intercambio inmediato de información entre las dependencias de los servicios de tránsito aéreo.

- Circular de información aeronáutica (AIC): Aviso que contiene información que no requiera la iniciación de un NOTAM ni la inclusión en las AIP, pero relacionada con la seguridad de vuelo, la navegación aérea, o asuntos de carácter técnico, administrativo o legislativo.
- Clases de espacio aéreo de los servicios de tránsito aéreo: Partes del espacio aéreo de dimensiones definidas designadas alfabéticamente, dentro de las cuales pueden realizarse tipos de vuelos específicos y para las que se especifican los servicios de tránsito aéreo y las reglas de operación.
- Comandante de la aeronave: Es el piloto al mando designado por el explotador, para cada operación aérea.
- Condiciones meteorológicas de vuelo por instrumentos (IMC): Condiciones meteorológicas expresadas en términos de visibilidad, distancia desde las nubes y techo de nubes, inferiores a los mínimos especificados para las condiciones meteorológicas de vuelo visual.
- Condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC): Condiciones meteorológicas expresadas en términos de visibilidad, distancia desde las nubes y techo de nubes, iguales o mejores que los mínimos especificados.
- Consulta: Discusión con un meteorólogo o con una persona calificada sobre las condiciones meteorológicas existentes o previstas relativas a las operaciones de vuelo, la discusión incluye respuestas a preguntas.
- Continuidad de servicio del ILS: Propiedad relacionada con la escasa frecuencia de interrupciones de la señal radiada. El nivel de continuidad de servicio del localizador o de la trayectoria de planeo se expresa en función de la probabilidad de que no se pierdan las señales de guía radiadas.
- Control de calidad: Técnicas operacionales y actividades utilizadas para cumplimentar los requisitos de calidad.
- Control de operaciones: La autoridad ejercida respecto a la iniciación, continuación, desviación o terminación de un vuelo en interés de la seguridad de la aeronave y de la regularidad y eficacia del vuelo.
- Control de seguridad: Medios para evitar que se introduzcan armas, explosivos o artículos que pudieran utilizarse para cometer actos de interferencia ilícita.

- Controlador de tránsito aéreo habilitado: Persona especializada en control de tránsito aéreo, titular de licencia y de habilitaciones válidas, apropiadas para el ejercicio de sus atribuciones.
- Diagnóstico: Es la recolección de datos para establecer así el estado de un fenómeno.
- Diseño: Es el proceso de implementar soluciones que ayuden a mejorar determinadas necesidades.
- Elipsoide: Modelo matemático particular de la tierra.
- Geodesia: Ciencia que estudia la medición y representación de la superficie de la tierra.
- Geoide: Forma verdadera de la superficie de la tierra, el cual es irregular debido a las perturbaciones naturales.
- Geomática: Es la aplicación de técnicas informáticas, sistematización y cuantificación de la observación y captura de elementos de la tierra y/o datos geográficos.
- Georreferenciación: Es la relación entre elementos de la tierra.
- GPS: Sistema de posicionamiento global. Es un sistema de radionavegación que emplea su propio sistema de referencia sobre el que define sus coordenadas.
- Información aeronáutica: Es el resultado de la agrupación y procesamiento de datos aeronáuticos.
- Información: Es el resultado de los datos procesados los cuales generan conocimiento.
- Informática: Estudia la información y facilita su manejo para satisfacer diversas necesidades.
- Metadatos: Se refieren a la información que caracteriza datos, y son utilizados para suministrar información sobre datos producidos.
- Proyecciones cartográficas: trazado de mapas digitales de levantamientos topográficos y cartográficos de mapas nacionales.

- Perfil: La proyección ortogonal de una trayectoria de vuelo o parte de la misma sobre la superficie vertical que contiene la derrota nominal.
- Plan de vuelo: Información especificada que, respecto a un vuelo proyectado o a parte de un vuelo de una aeronave, se somete a las dependencias de los servicios de tránsito aéreo.
- Plataforma: Área definida, en un aeródromo terrestre, destinado a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.
- Posición (geográfica): Conjunto de coordenadas (latitud y longitud) con relación al elipsoide matemático de referencia que define la ubicación de un punto en la superficie de la tierra.
- Radar: Es un equipo controlador de la trayectoria de un móvil el cual puede darle a conocer su posición o instrucciones para corregir su trayectoria.
- RNAV: Sistemas de radionavegación de área constituidos por radioayudas para la navegación, a partir de los datos aeronáuticos que generan las instrucciones apropiadas y las envían a los sistemas de las aeronaves para seguir la ruta prevista durante las fases de salida, en ruta y aproximación.
- Sistema de información geográfica: Conjunto de herramientas informáticas que permiten la captura y almacenamiento de datos geográficos referenciados espacialmente a la superficie terrestre, permitiendo su relación para análisis, edición y consultas, con el propósito de obtener información específica y tomar decisiones apoyándose en la cartografía.
- Sistema: Son un conjunto de elementos que interactúan entre sí para llevar a cabo una tarea determinada.
- Telecomunicaciones: Permite establecer comunicación a grandes distancias a través de redes interconectadas.
- Tráfico aéreo: Es la saturación del espacio aéreo con aeronaves.
- Tránsito aéreo: Es la planificación de los vuelos de manera óptima para la eficiente utilización del espacio aéreo.

## ANEXO C

### 1. PANTALLAS DEL SISTEMA

**1.1 Listado helipuertos, aeródromos controlados y no controlados.** En el PIB (Boletín de información previa al vuelo) se encuentra el listado helipuertos, aeródromos controlados y no controlados publicados por la aeronáutica civil colombiana en su página web oficial: [www.aerocivil.gov.co](http://www.aerocivil.gov.co).

**Figura 1. Aeródromos Controlados**

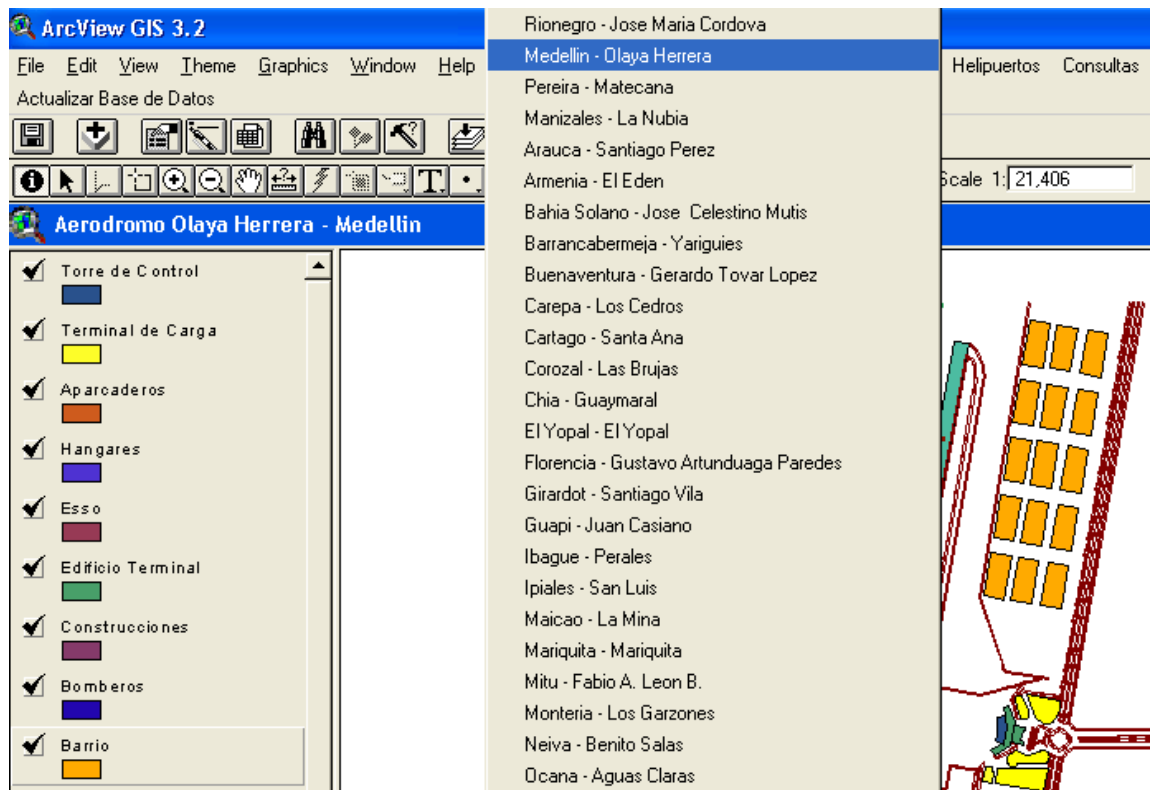




Figura 2. Aeródromos No Controlados.

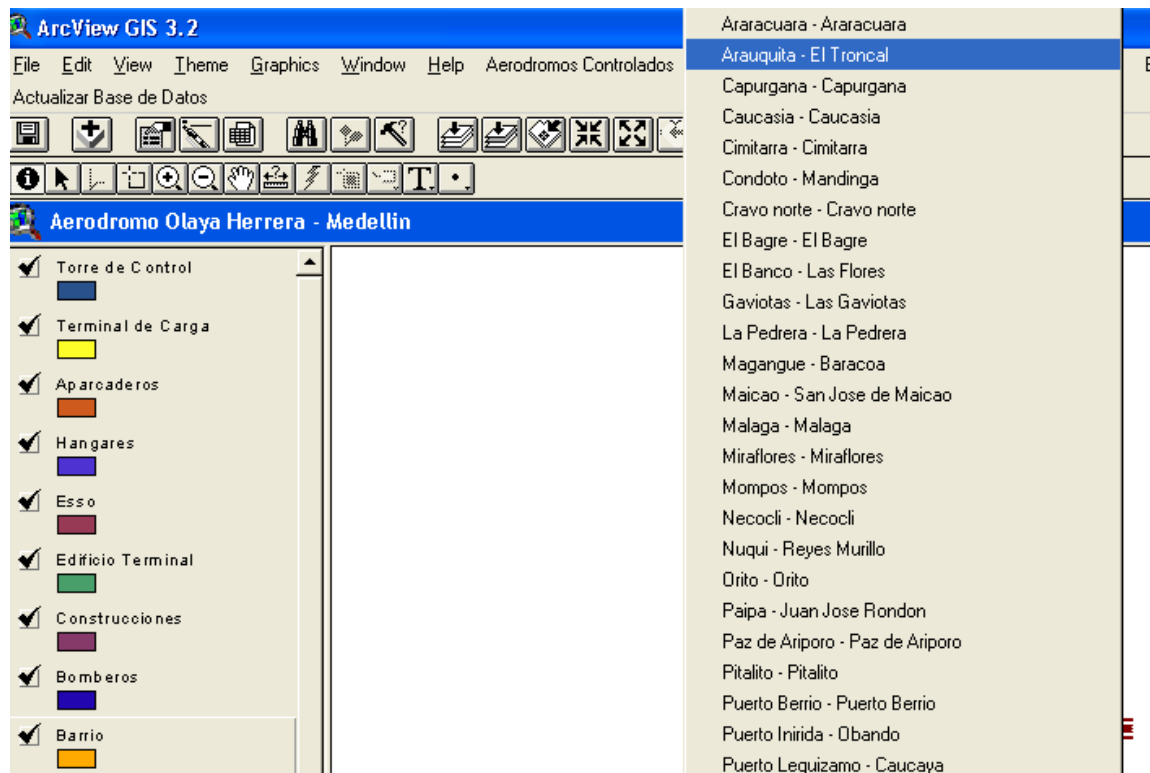
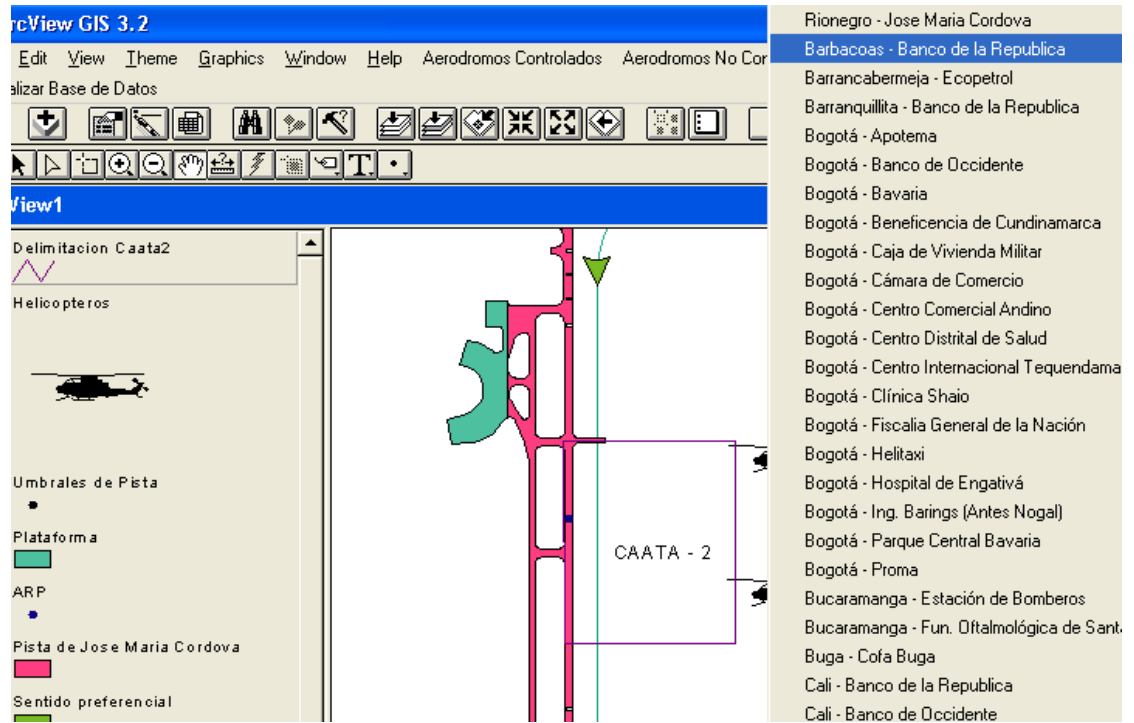


Figura 3. Helipuertos



## ANEXO D

### 1. SIGLAS Y/O ABREVIATURAS AERONÁUTICAS

ACC:	Control de área.
AD:	Aeródromo.
ATC:	Control de tránsito aéreo.
ATM:	Organización de tránsito aéreo.
ATN:	Red de telecomunicaciones aeronáuticas.
ATS:	Servicio de tránsito aéreo.
ATS/MET:	Punto de notificación obligatorio Meteorológico.
ATZ:	Zona de tránsito de aeródromo.
AIC:	Circulación de información aeronáutica.
AIP:	Publicación de información aeronáutica.
ARP:	Punto de Referencia del Aeródromo.
CAB:	Cabecera.
CAT:	Categoría.
CNS:	Comunicaciones, navegación y vigilancia.
CTR:	Zona de control.
CTA:	Área de control.
DME:	Equipo radio telemétrico (Equipo medidor de distancia).
FAP:	Punto de aproximación final.
FIR:	Región de información de vuelo.
FIS:	Servicio de información de vuelo.
FL:	Nivel de vuelo.
ILS	Angulo De Trayectoria De Planeo.
LLZ:	Localizador.
OACI	Organización Internacional de la Aeronáutica Civil.
PAPI:	Indicador de trayectoria de aproximación de precisión.
PNO:	Punto de notificación obligatorio.
PNS:	Punto de notificación a solicitud.
NM:	Millas Náuticas.
NDB:	Radiofaro no direccional.
THR:	Umbral.
TMA:	Área de control Terminal.
SWY:	Zona de parada.
STAR:	Llegada normalizada por instrumentos.
STA:	Aproximación directa.
SVAR:	Ruta de llegada normalizada para vuelos visuales.
RNAV:	Navegación aérea.
RWY:	Pista.
UAEAC	Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil.

VRF: Reglas de vuelo visual.  
VHF: Muy alta frecuencia (30 a 300mhz).  
VOR: Radiofaro omnidireccional VHF.  
VOR/DME: Radiofaro omnidireccional VHF / Equipo radio telemétrico (Equipo medidor de distancia).