

# Índice

## CAPITULO 1.

|  |    |
|--|----|
| PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACION .....       | 1  |
| 1.1. ANTECEDENTES. ....                      | 1  |
| 1.2. OBJETO DE LA INVESTIGACION.....         | 5  |
| 1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION. .... | 6  |
| 1.4. ESTADO DEL ARTE. ....                   | 8  |
| 1.5. ESTRUCTURA GENERAL DE LA TESIS. ....    | 13 |

## CAPITULO 2.

|  |    |
|--|----|
| CONCEPTOS GENERALES DE NAVEGACION AEREA.....                                   | 15 |
| 2.1. CONCEPTO DE NAVEGACION AEREA .....  | 15 |
| 2.2. TECNICAS DE NAVEGACION AEREA .....  | 16 |
| 2.3. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE NAVEGACION.....                          | 18 |
| 2.4. SISTEMA DE NAVEGACION AEREA CONVENCIONAL .....                            | 21 |
| 2.4.1. Sistema azimutal: VOR .....   | 21 |
| 2.4.2. Sistemas distanciométricos: DME. ....                                   | 23 |
| 2.4.3. El ILS (Instrument Landing System) .....                                | 24 |
| 2.4.4. El MLS(Microwave Landing System).....                                   | 27 |
| 2.4.5. El PAR(Precision Approach Radar).....                                   | 29 |
| 2.4.6. Sistemas Hiperbólicos ( LORAN, DECCA, OMEGA) .....                      | 29 |
| 2.4.7. Sistema de navegación autónomo DOPPLER .....                            | 30 |
| 2.4.8. Sistemas Inerciales (IMU) .....   | 31 |
| 2.5. NAVEGACION DE AREA.....   | 31 |
| 2.5.1. Requisitos operacionales de un sistema de navegación de área (RNP)..... | 36 |
| 2.5.1.1. Error de navegación y alerta.....                                     | 39 |
| 2.5.2. Implantación y evolución del RNAV en Europa.....                        | 41 |
| 2.5.3. Procedimientos en Navegación de Area (RNAV) .....                       | 43 |

### CAPITULO 3.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACION POR SATELITE (GNSS)</b> .....  | <b>51</b> |
| 3. 1. GENERALIDADES DE SISTEMAS GNSS .....   | 51        |
| 3.1.1. El desarrollo de los sistemas GNSS .....  | 54        |
| 3.1.2. Principio de Funcionamiento de los GNSS.....  | 55        |
| 3.1.2.1. Triangulación: la base del sistema.....   | 56        |
| 3.1.2.2. Fuentes de error en los sistemas GNSS.....  | 58        |
| 3.1.3. Métodos de posicionamiento.....   | 59        |
| 3.1.3.1. Posicionamiento absoluto.....   | 60        |
| 3.1.3.2. Posicionamiento diferencial .....   | 61        |
| 3.1.4. Fundamentos del Posicionamiento Diferencial (DGNS).....   | 63        |
| 3.1.4.1. Ecuaciones de observación.....  | 64        |
| 3.1.4.2. Posicionamiento diferencial por código o pseudodistancia .....  | 65        |
| 3.1.4.3. Posicionamiento diferencial por fase.....   | 67        |
| 3.1.5. Correcciones diferenciales .....  | 70        |
| 3.1.5.1. Formato de envío de correcciones.....   | 71        |
| 3.1.5.2. Protocolos de transporte. ....  | 72        |
| 3.2. SISTEMAS DE AUMENTACION GNSS .....  | 73        |
| 3.2.1. Sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS).....  | 75        |
| 3.2.1.1. Fundamentos de sistemas SBAS.....   | 77        |
| 3.2.1.2. Formato de Señal .....  | 78        |
| 3.2.1.3. Arquitectura SBAS.....  | 79        |
| 3.2.1.4. Finalidades específicas de los SBAS para Navegación aérea. ....   | 80        |
| 3.2.1.5. Descripción de sistemas SBAS.....   | 82        |
| 3.2.2. Sistemas de aumentación basados en Tierra (GBAS) .....  | 86        |
| 3.2.2.1. Sistema LAAS.....   | 89        |
| 3.2.3. Sistemas de aumentación basados en aeronaves (ABAS).....  | 89        |
| 3.2.3.1. INS (Inertial Navigation Sensors) Sistema de Navegación Inercial .....                                    | 90        |
| 3.2.3.2. ADM (Aircraft Dynamic Models) Técnica basada en modelos dinámicos del comportamiento de la aeronave. .... | 91        |
| 3.2.3.3. RAIM .....  | 91        |
| 3.2.3.4. AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring).....  | 93        |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2.3.b.Asistencia barométrica.....                                      | 94  |
| 3.2.3.6.Hibridación DGPS (GPS Diferencial).....                          | 94  |
| 3.3 ESTACIONES DE REFERENCIA PERMANENTE GNSS .....                       | 95  |
| 3.3.1. Equipamiento de una Estación de Permanente.....                   | 97  |
| 3.3.2. Redes de Estaciones Permanentes. ....                             | 98  |
| 3.3.2.1. Sistemas WADGPS.....  | 99  |
| 3.3.2.2. Redes Activas .....   | 100 |
| 3.3.3. Red de Estaciones de referencia GNSS en España y en el mundo..... | 105 |
| 3.3.3.1. La red mundial del International GNSS Service.....              | 105 |
| 3.3.3.2. La red europea EUREF Permanent Network. ....                    | 107 |
| 3.3.3.3. La red ERGNSS del Instituto Geográfico Nacional.....            | 108 |
| 3.3.3.4. Las redes de estaciones de referencia regionales en España..... | 109 |

#### CAPITULO 4.

|  |     |
|--|-----|
| SISTEMA DE AUMENTACION EGNOS .....                                       | 110 |
| 4.1. PRESTACIONES TECNICAS.....  | 111 |
| 4.2. ARQUITECTURA DE EGNOS .....   | 118 |
| 4.2.1. Segmento de Control Terrestre .....                               | 118 |
| 4.2.2. Segmento espacial.....  | 122 |
| 4.2.3. Segmento usuario.....   | 123 |
| 4.3. SERVICIOS DE EGNOS .....  | 126 |
| 4.3.1. Nivel de Servicio.....  | 127 |
| 4.3.2. Servicios básicos proporcionados por el sistema .....             | 127 |
| 4.3.3. Safety or Life de EGNOS.....                                      | 129 |
| 4.3.3.1. Requisitos de rendimiento del servicio para aviación civil..... | 130 |
| 4.3.3.2. Características mínimas de rendimiento del servicio SoL.....    | 130 |
| 4.3.3.3. Limitaciones del servicio.....                                  | 135 |
| 4.4. EL TIEMPO Y LOS SISTEMAS DE REFERENCIA EN EGNOS .....               | 137 |
| 4.4.1. Sistema de referencia IIRF para EGNOS.....                        | 137 |
| 4.4.2. Sistema de Tiempo ENT de EGNOS.....                               | 137 |
| 4.5. CORRECCION IONOSFERICA EN EGNOS .....                               | 138 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.6. EL MENSAJE DE EGNOS.....                                   | 142 |
| 4.6.1. Estructura de los tipos de mensajes.....                 | 144 |
| 4.6.2. Periodo de validez de los mensajes.....                  | 144 |
| 4.7. EVOLUCION DE EGNOS .....                                   | 146 |
| 4.8. VENTAJAS DE EGNOS Y SU VALIDACION.....                     | 148 |
| 4.8.1. Proyectos de investigación para validación de EGNOS..... | 149 |
| 4.8.1.1. Proyecto Giant.....                                    | 149 |
| 4.8.1.2. Proyecto MAGES.....                                    | 150 |
| 4.8.1.3. Proyecto Helicity.....                                 | 150 |
| 4.8.1.4. Proyecto Giant 2 .....                                 | 151 |
| 4.8.1.5. Proyecto Accepta .....                                 | 152 |
| 4.8.1.6. Proyecto HEDGE.....                                    | 152 |
| 4.8.1.7. Proyecto MIELEC.....                                   | 154 |
| 4.9. Desarrollo comercial de EGNOS .....                        | 155 |

## CAPITULO 5.

|   |     |
|---|-----|
| SISTEMA DE ESTACIONES DE REFERENCIA VIRTUALES (VRS) .....   | 159 |
| 5.1. FUNDAMENTOS DE SISTEMA VRS.....                        | 159 |
| 5.1.1. Evaluación del rendimiento del sistema VRS.....      | 162 |
| 5.2. TRANSMISION DE CORRECCIONES VIA INTERNET (NTRIP) ..... | 165 |
| 5.2.1. El Ntrip Server .....                                | 167 |
| 5.2.2. El Ntrip Caster .....                                | 168 |
| 5.2.3. El Ntrip USER .....                                  | 168 |
| 5.2.4. Servicios NTRIP .....                                | 169 |

## CAPITULO 6.

|  |     |
|--|-----|
| ESTUDIO Y VIABILIDAD DE LA INTEGRACION DE LA TECNOLOGIA NTRIP/GBAS EN UN SISTEMA SBAS..... | 171 |
| 6.1. ESTADO DEL ARTE DE LAS COMUNICACIONES AERONAUTICAS .....                              | 172 |
| 6.1.1.El espectro electromagnético .....   | 172 |
| 6.1.2.Banda de frecuencia Aeronáutica .....  | 174 |
| 6.1.3 Comunicaciones móviles aeronáuticas .....  | 175 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.1.4. Normativa .....  | 176 |
| 6.1.4.1. Normativa de UIT/ ITU .....  | 176 |
| 6.1.4.2. Normativa de OACI, ANEXO 10 .....  | 177 |
| 6.1.5. Radioayudas terrestres a la navegación.....                                    | 179 |
| 6.1.5.1. VOR: VHF Omnidireccional Radiorange.....                                     | 179 |
| 6.1.5.2. DME: Distance Measuring Equipment .....                                      | 179 |
| 6.1.5.3. ILS: Instrument Landing System.....  | 180 |
| 6.1.5.4. Características y bandas de las radioayudas .....                            | 180 |
| 6.1.5.5. Sistema SATCOM.....  | 182 |
| 6.1.6. Señales y Frecuencias.....   | 184 |
| 6.1.6.1. Espacio - Tierra.....  | 184 |
| 6.1.6.2. Tierra - Espacio.....  | 185 |
| 6.1.7. Frecuencias del GNSS .....   | 185 |
| 6.1.8. Sistemas de Aviónica.....  | 186 |
| 6.1.8.1. ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring) .....                      | 189 |
| 6.1.9. Conclusiones.....  | 190 |
| 6.2. ESTUDIO Y ANALISIS DE LA INTEGRACION DEL PROTOCOLO NTRIP EN UN SISTEMA SBAS..... | 190 |
| 6.2.1. Telefonía Móvil .....  | 190 |
| 6.2.1.1. GSM .....  | 190 |
| 6.2.1.2. GPRS.....  | 191 |
| 6.2.1.3. UMTS.....  | 192 |
| 6.2.1.4. LTE .....  | 192 |
| 6.3. PRUEBAS DE VIABILIDAD DE CREACION DEL SISTEMA GNSS-ABAS-NTRIP .....              | 193 |
| 6.3.1. Arquitectura del Sistema y observaciones previas.....                          | 193 |
| 6.3.2. Pruebas en Tierra .....  | 195 |
| 6.3.2.1. Estático .....   | 195 |
| 6.3.2.2. Cinemático en UPV.....   | 197 |
| 6.3.2.3. Comprobación de recepción de señal en el aeropuerto de Ciudad Real .....     | 199 |
| 6.3.2.4. Conclusiones.....  | 201 |
| 6.3.3. Prueba en Vuelo.....   | 201 |
| 6.3.3.1. Resultados obtenidos y análisis de los datos. ....                           | 202 |

## **CAPITULO 7.**

|  |            |
|--|------------|
| <b>METODOLOGIA DE RECOPIACION DE OBSERVABLES PARA LA INVESTIGACION .....</b> | <b>206</b> |
| 7.1. EQUIPAMIENTO GNSS PARA TOMA OBSERVABLES.....                            | 207        |
| 7.1.1. Descripción general. ....   | 207        |
| 7.1.2. Separación por aproximaciones y codificación de datos. ....           | 210        |
| 7.2. EQUIPAMIENTO AEREO .....  | 212        |
| 7.2.1. Helicóptero. ....   | 212        |
| 7.2.2. Carta navegación.....   | 212        |
| 7.2.3. Antenas GNSS.....   | 213        |
| 7.2.4. Software de ayuda a la navegación .....                               | 214        |
| 7.3. VALIDACION DE OBSERVABLES .....   | 215        |
| 7.3.1. Análisis previo de datos. ....  | 224        |
| 7.3.1.1 Error en Distancia entre receptores VRS y RTK de Trimble .....       | 224        |
| 7.3.2. Conclusiones.....   | 230        |

## **CAPITULO 8.**

|  |            |
|--|------------|
| <b>ANALISIS DE CALIDAD DEL POSICIONAMIENTO EGNOS/VRS .....</b>   | <b>232</b> |
| 8.1. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION .....                          | 232        |
| 8.2. ESTUDIO PRECISION .....                                     | 233        |
| 8.2.1. Exactitud .....   | 234        |
| 8.2.2. Estudio de Posicionamiento en Postproceso.....            | 239        |
| 8.3. ESTUDIO DE PRECISION EN TIEMPO REAL.....                    | 240        |
| 8.3.1. Precisión en Tiempo Real de EGNOS.....                    | 242        |
| 8.3.2. Precisión en Tiempo Real de VRS.....                      | 244        |
| 8.4. INTEGRACION DE SOLUCION EGNOS Y VRS.....                    | 251        |
| 8.4.1. Traslación de posicionamiento EGNOS a VRS.....            | 251        |
| 8.4.2. Determinación de Traslación por trayectorias.....         | 254        |
| 8.4.3. Resultados de Precisión en posicionamiento EGNOS/VRS..... | 256        |
| 8.5. ESTUDIO DE CONTINUIDAD.....                                 | 260        |
| 8.6. ESTUDIO DE INTEGRIDAD Y DISPONIBILIDAD.....                 | 267        |

|   |     |
|---|-----|
| CAPITULO 9.   |     |
| CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION .....                | 269 |
| 9.1. CONCLUSIONES .....   | 269 |
| 9.2. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION .....                          | 273 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....                                    | 274 |
| ANEXO I : Descripción de Tipos de Mensaje de EGNOS .....            | 281 |
| ANEXO II : Características Técnicas del Instrumental Utilizado..... | 287 |
| ANEXO III : Reseña de Estación Permanente ALMU .....                | 291 |