



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# Trabajo Fin de Grado

*Grado en Ingeniería Aeroespacial*

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño*

Validación y diseño de procedimientos SBAS.  
Análisis de la metodología operacional en  
ensayo de vuelo y su aplicación en  
procedimientos RNAV.

Autor: Moisés Linares Muñoz

Fecha: Septiembre 2017

Tutor: Israel Quintanilla García

Cotutor: Pedro Yuste Pérez



# Agradecimientos

Antes de comenzar con la memoria de mi Trabajo Final de Grado, me gustaría dedicar unas líneas a todas aquellas personas que, de una manera u otra, me han ayudado y apoyado estos últimos 4 años, periodo en el que he logrado finalizar ingeniería aeroespacial.

En primer lugar, quiero agradecer tanto a la Universitat Politècnica de València como a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño el rigor y profesionalidad que imbuyen a los Grados impartidos, dotándolos de excelencia en el panorama internacional y combinando una formación académica con otra, menos habitual, como es la transversal.

Gracias a uno de mis pilares fundamentales, de los últimos 4 años y de mi vida, como son mi familia, encabezados por mis padres y mi hermano. Ellos siempre han sabido guiarme a base de consejos, haciéndome tomar a mí las decisiones que construyen poco a poco el que será mi futuro. “Querer es poder”, una premisa que guardo como propia y que me ha acompañado siempre, es el resultado de su educación y valores.

Gracias al Dr. Israel Quintanilla por poner sus conocimientos y pasión por el mundo aeronáutico y de la navegación a nuestro servicio, por su ayuda e indudable implicación en la realización de este trabajo y la orientación hacia el mundo de los RPAS de mi futuro.

Gracias a EUROAVIA, por aparecer como oasis en los primeros duros compases de la carrera. Lo que aparecía como una excusa, se convirtió en mi pasión, dando lugar a un desarrollo personal con el que no contaba salir de la universidad y la posibilidad de conocer a personas maravillosas que han sabido sacar lo mejor de mí.

Por último, y no por ello menos importante, gracias a Ovi, Nacho, Ferrero, Nazariy y Nedo por toda vuestra ayuda, apoyo e infinita paciencia conmigo en estos años. Gracias también a todas aquellas personas que han sido mis compañeros y con las que he vivido experiencias que, muy difícilmente, podré olvidar algún día.



# Resumen

En este trabajo se va a llevar a cabo el estudio necesario para la certificación y validación de un procedimiento GNSS, basado en los sistemas de aumentación (como es el SBAS europeo de EGNOS) y en GPS. Más particularmente, se trata del servicio conocido como LPV-200, sistema que se implementará, muy posiblemente, en la mayoría de aeropuertos en un futuro próximo. Esto se hará con el objetivo de mejorar las operaciones de aproximación. Este análisis se ha hecho con Alicante como ciudad objetivo, a partir de los datos que se han obtenido de la base sita en el aeropuerto de la ciudad (de código ALAC).

Para poder comprender mejor la situación de la certificación en el panorama actual, se ha optado por realizar una descripción teórica de los diferentes sistemas GNSS y los sistemas de aumentación que se les puede asociar y análisis de las diferentes prestaciones que se le exigen a estos sistemas. Se ha generado un marco actual con la descripción del SBAS europea, PBN y SESAR. A continuación, se realiza el estudio de las prestaciones durante 6 meses y, al ser positivas, de 5 días sobre terreno. Este último paso corrobora lo obtenido en el primero.

De esta manera, hemos conseguido llevar a cabo la certificación de la primera etapa para un procedimiento GNSS, siendo la certificación de los ensayos de vuelo y diseño de procedimientos las etapas que siguen. Estas no se han realizado puesto que los datos no se han podido trabajar, evitando el avance sobre el estudio completo.

En su lugar, se ha optado por comprobar que el procedimiento realizado para Valencia, trabajo de Jesús Antonio González Gómez, es correcto aplicándolo a los datos obtenidos de Alicante.



# Índice General

Agradecimientos

Resumen

Índice General.....	1
Lista de Figuras.....	4
Lista de Acrónimos .....	9
I. MEMORIA.....	13
1. Introducción.....	14
2. Objetivo.....	16
3. Sistemas GNSS.....	17
3.1. Descripción.....	17
3.2. Constelaciones .....	18
3.2.1. Activas .....	18
3.2.2. En Desarrollo .....	20
3.3. Sistemas de aumentación .....	23
4. Prestaciones.....	26
4.1. Precisión .....	26
4.2. Disponibilidad.....	27
4.3. Integridad .....	29
4.4. Continuidad.....	32
5. SBAS.....	34
5.1. Fundamentos matemáticos .....	34
5.2. SBAS europeo – EGNOS.....	35
5.2.1. Segmento Terrestre.....	36
5.2.2. Segmento Espacial.....	38
5.2.3. Segmento Usuario .....	39
5.2.4. Mensajes EGNOS.....	39
5.2.5. Servicios EGNOS .....	41
5.3. Otros sistemas SBAS.....	42
6. PBN.....	44

6.1.	Concepto .....	44
6.2.	Operaciones .....	47
6.3.	PBN y GNSS.....	48
7.	SESAR .....	51
7.1.	Definición .....	51
7.2.	Fases.....	51
7.2.1.	Definición .....	51
7.2.2.	Desarrollo .....	53
7.2.3.	Despliegue .....	53
7.3.	Next Gen & SESAR .....	55
8.	Obtención y trabajo de datos .....	56
8.1.	Formatos Datos GNSS .....	56
8.1.1.	RTCM y RTCA .....	56
8.1.2.	NMEA.....	56
8.1.3.	NTRIP .....	57
8.1.4.	RINEX.....	57
8.2.	Obtención y manipulación .....	60
9.	Validación y certificación de procedimientos PBN .....	65
9.1.	Evaluación GNSS de Largo Plazo .....	65
9.1.1.	Precisión .....	66
9.1.2.	Disponibilidad.....	66
9.1.3.	Integridad .....	67
9.1.4.	Continuidad .....	68
9.2.	Campaña de toma de Datos sobre Terreno .....	68
9.3.	Ensayo de Vuelo .....	69
10.	Software .....	70
10.1.	SBAS TeACHER.....	70
10.2.	SBAS MeNTOR .....	71
10.3.	SISNeTlab.....	72
10.4.	SISNeT UAS.....	73
10.5.	Procesado RINEX .....	74
10.5.1.	Hatanaka .....	74
10.5.2.	teqc.....	75
10.6.	PEGASUS.....	76
10.6.1.	Convertor .....	78

10.6.2.	GNSS Solution.....	79
10.6.3.	MFile Runner.....	81
10.6.4.	Uso PEGASUS.....	82
11.	Validación de procedimiento PBN .....	84
11.1.	Precisión .....	84
11.2.	Disponibilidad.....	92
11.3.	Integridad .....	96
11.4.	Continuidad .....	112
12.	Conclusión.....	116
II.	PLIEGO DE CONDICIONES.....	118
13.	Condiciones Generales .....	119
13.1.	General.....	119
13.2.	Real Decreto 488/1997 del 14 de abril .....	120
13.3.	Condiciones de especificaciones técnicas.....	127
13.3.1.	Hardware.....	127
13.3.2.	Software .....	127
13.3.3.	Conexión a Internet.....	128
13.3.4.	Conocimientos previos.....	128
13.3.5.	Material adicional.....	128
13.3.6.	Supervisión .....	129
III.	PRESUPUESTO .....	131
14.	Presupuesto.....	132
14.1.	Introducción .....	132
14.2.	Estado de mediciones .....	133
14.3.	Desglose de costes unitarios.....	134
14.3.1.	Coste de material y software unitario.....	134
14.3.2.	Coste de personal cualificado .....	134
14.3.3.	Coste de oficina unitario .....	135
14.4.	Desglose de costes totales .....	135
14.4.1.	Coste de material y software total.....	135
14.4.2.	Coste de personal cualificado total.....	136
14.4.3.	Coste de oficina total .....	136
14.5.	Resumen del presupuesto total .....	136
IV.	BIBLIOGRAFÍA .....	138

# Lista de Figuras

Figura 1.1: Situación actual de la implementación en Europa de los procedimientos EGNOS....	15
Figura 3.1: Bandas de frecuencia del programa Galileo y su distribución en la banda L.....	23
Figura 3.2: Diferentes sistemas SBAS y su distribución global. ....	24
Figura 4.1: Datos de Precisión para LPV-200 del SoL Documento de Definición.....	27
Figura 4.2: Extracto de los datos de Disponibilidad para LPV-200 del SoL Documento de Definición. ....	28
Figura 4.3: Posibles situaciones de los niveles de protección de EGNOS.....	30
Figura 4.4: Diagrama de Stanford. ....	31
Figura 4.5: Extracto de los datos de Continuidad para LPV-200 del SoL Documento de Definición. ....	33
Figura 5.1: Tres grandes divisiones en la estructura de EGNOS. ....	36
Figura 5.2: Estructura del segmento terrestre. Distribución RIMS. ....	37
Figura 5.3: Satélites EGNOS y su cobertura conjunta.....	38
Figura 5.4: Distribución y orden de los parámetros de un mensaje EGNOS. ....	39
Figura 5.5: Tipos y contenido de los mensajes EGNOS.....	41
Figura 5.6: Esquema funcionamiento y estructura EDAS.....	42
Figura 6.1: Tipos de especificación RNAV.....	45
Figura 6.2: Clasificación de especificaciones RNP y RNAV en las fases de vuelo. ....	46
Figura 6.3: Fases de vuelo y especificaciones típicas RNP.....	46

Figura 6.4: Altitudes de decisión para un sistema WAAS.....	48
Figura 6.5: Tipos de especificaciones PBN en Aproximación.....	49
Figura 7.1: Entidades implicadas en el SESAR Consortium.....	52
Figura 8.1: Archivo RINEX de Observación tras pasar por Hatanaka y teqc.....	58
Figura 8.2: Archivo RINEX de Navegación tras pasar por teqc.....	59
Figura 8.3: Estación de Alicante, datos y posición.....	61
Figura 8.4: Interfaz del directorio FTP.....	62
Figura 8.5: Interfaz que presenta el software PAG.....	63
Figura 9.1: Datos de precisión para el sistema LPV-200.....	66
Figura 9.2: Satélites activos y su disponibilidad SIS.....	66
Figura 9.3: Evolución de la disponibilidad de los satélites de estudio durante 6 meses.....	67
Figura 9.4: Datos de disponibilidad para el sistema LPV-200.....	67
Figura 9.5: Datos de integridad para el sistema LPV-200.....	68
Figura 9.6: Datos de continuidad para el sistema LPV-200.....	68
Figura 10.1: Interfaz del software SBAS TeACHER.....	70
Figura 10.2: Interfaz del software SBAS MeNTOR.....	71
Figura 10.3: Interfaz del software SISNeTlab.....	72
Figura 10.4: Interfaz del software SISNet UAS.....	73
Figura 10.5: cmd de Windows con ejecución del fichero crx2rn.exe.....	74
Figura 10.6: cmd de Windows con ejecución del fichero teqc.exe.....	76
Figura 10.7: Interfaz del software PEGASUS.....	77
Figura 10.8: Escenarios posibles predefinidos en software PEGASUS.....	78
Figura 10.9: Interfaz del módulo Convertor del software PEGASUS.....	79

Figura 10.10: Interfaz del módulo GNSS Solution del software PEGASUS. ....	80
Figura 10.11: Interfaz del módulo MFile Runner del software PEGASUS. ....	82
Figura 11.1: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 213. ....	84
Figura 11.2: Histograma de VPE del día 213. ....	85
Figura 11.3: Histograma de HPE del día 213. ....	86
Figura 11.4: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 214. ....	86
Figura 11.5: Histograma de VPE del día 214. ....	87
Figura 11.6: Histograma de HPE del día 214. ....	87
Figura 11.7: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 215. ....	88
Figura 11.8: Histograma de VPE del día 215. ....	88
Figura 11.9: Histograma de HPE del día 215. ....	89
Figura 11.10: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 216. ....	89
Figura 11.11: Histograma de VPE del día 216. ....	90
Figura 11.12: Histograma de HPE del día 216. ....	90
Figura 11.13: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 217. ....	91
Figura 11.14: Histograma de VPE del día 217. ....	91
Figura 11.15: Histograma de HPE del día 217. ....	92
Figura 11.16: Mapa de color de Disponibilidad del día 213. ....	93
Figura 11.17: Mapa de color de Disponibilidad del día 214. ....	93
Figura 11.18: Mapa de color de Disponibilidad del día 215. ....	94
Figura 11.19: Mapa de color de Disponibilidad del día 216. ....	94
Figura 11.20: Mapa de color de Disponibilidad del día 217. ....	95
Figura 11.21: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 213. ....	96
Figura 11.22: Histograma HSI del día 213. ....	97
Figura 11.23: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 213. ....	97
Figura 11.24: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 213. ....	98

Figura 11.25: Histograma VSI del día 213. ....	98
Figura 11.26: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 213. ....	99
Figura 11.27: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 214. ....	99
Figura 11.28: Histograma HSI del día 214. ....	100
Figura 11.29: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 214. ....	100
Figura 11.30: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 214. ....	101
Figura 11.31: Histograma VSI del día 214. ....	101
Figura 11.32: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 214. ....	102
Figura 11.33: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 215. ....	102
Figura 11.34: Histograma HSI del día 215. ....	103
Figura 11.35: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 215. ....	103
Figura 11.36: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 215. ....	104
Figura 11.37: Histograma VSI del día 215. ....	104
Figura 11.38: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 215. ....	105
Figura 11.39: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 216. ....	105
Figura 11.40: Histograma HSI del día 216. ....	106
Figura 11.41: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 216. ....	106
Figura 11.42: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 216. ....	107
Figura 11.43: Histograma VSI del día 216. ....	107
Figura 11.44: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 216. ....	108
Figura 11.45: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 217. ....	108
Figura 11.46: Histograma HSI del día 217. ....	109
Figura 11.47: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 217. ....	109
Figura 11.48: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 217. ....	110
Figura 11.49: Histograma VSI del día 217. ....	110
Figura 11.50: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 217. ....	111
Figura 11.51: Mapa de color de Continuidad del día 213. ....	112

Figura 11.52: Mapa de color de Continuidad del día 214.....	113
Figura 11.53: Mapa de color de Continuidad del día 215.....	113
Figura 11.54: Mapa de color de Continuidad del día 216.....	114
Figura 11.55: Mapa de color de Continuidad del día 217.....	114
Figura 14.1: Conjunto de equipos informáticos y Software.....	133
Figura 14.2: Montaje e instalación del equipo informático.....	133
Figura 14.3: Instalación del software específico.....	133
Figura 14.4: Personal específico para el desarrollo del proyecto.....	133
Figura 14.5: Oficina para la ubicación de los elementos y desarrollo del proyecto.....	133
Figura 14.6: Coste de material y software total.....	135
Figura 14.7: Coste de personal cualificado total.....	136
Figura 14.8: Coste de oficina total.....	136
Figura 14.9: Resumen presupuesto total.....	136

# Lista de Acrónimos

A-RNP	Advanced RNP
ABAS	Aircraft Based Augmentation System
AENA	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
AFI	Africa-Indian Ocean Regional Monitoring Agency
AL	Alert Limit
AOR-E	Atlantic Ocean Region – East
APV	Approach with Vertical Guidance
ASCI	American Standard Code for Information Interchange
ASQF	Application Specific Qualification Facility
ATC	Air Traffic Control
ATFCM	Air Traffic Flow and Capacity Management
ATM	Air Traffic Management
B-RNP	Basic RNP
C/A	Coarse/Acquisition
CCF	Central Control Facility
CPF	Central Processing Facility
CS	Commercial Service
DGPS	Differential GNSS
EDAS	EGNOS Data Access Service
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EMS	EGNOS Message Server
EOL	End Of Life
ERGNSS	Estación Regional GNSS
ESA	European Space Agency
ESSP	European Satellite Services Provider
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
ETSID	Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
EUREF	European Reference Frame
EWAN	EGNOS Wide Area Network
FAA	Federal Aviation Administration
FDE	Fault Detection and Exclusion
FTP	File Transfer Protocol
GAGAN	GPS Aided GEO Augmented Navigation
GB	GigaByte
GBAS	Ground Based Augmentation System
GEO	Geostationary Satellite

GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HMI	Hazardous Misleading Information
HNSE	Horizontal Navigation System Error
HPE	Horizontal Position Error
HPL	Horizontal Protection Level
HSI	Horizontal Safety Index
ICAO	International Civil Aviation Organization
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IGP	Ionospheric Grid Point
IGS	International GNSS Service
ILS	Instrument Landing System
IOR-W	Indian Ocean Region West
IR	Integrity Risk
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IVA	Impuesto sobre el valor Añadido
LNAV	Lateral NAVigation
LPV	Localizer Performance with Vertical Guidance
LPV-200	Localizer Performance with Vertical Guidance equivalent to ILS CAT I
MALAYSIA	Malaysia Navigation System
MATLAB	Matrix Laboratory
MB	MegaByte
MCC	Mission Control Centre
MHz	MegaHertz
MI	Misleading Information
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System
NAVIC	NAVigation Indian Constellation
NDB	Non-Directional Beacon
NLES	Navigation Land Earth Station
NMEA	National Marine Electronic Association
NOP	Network Operations Plan
NPA	Non-Precision Approach
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OS	Open Service
PACF	Performance Assesment and Check-out Facility
PAG	Programa de Aplicaciones Geodésicas

PBN	Performance Based Navigation
PEGASUS	Prototype EGNOS and GBAS Analysis System Using SAPPHIRE
PL	Protection Level
PPS	Precise Positioning Service
PRN	Pseudo-Random Number
PRS	Public Regulated Service
PS	Precise System
PVT	Position, Velocity and Time
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RAM	Random Access Memory
RIMS	Ranging Integrity Monitoring Station
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RNAV	Area Navigation
RNP	Required Navigation Performance
RNP APCH	RNP Approach
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautic Services
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
SACCSA	Sistema de Aumentación para el Caribe, Centro y Sudamérica
SAR	Search And Rescue
SBAS	Satellite-Based Augmentation System
SBAS MeNTOR	SBAS Message Generator
SBAS TeACHER	SBAS Tool for Education And Contributor to Harness EGNOS Research
SDCM	System of Differential Correction and Monitoring
SES	Single European Sky
SESAR	Single European Sky ATM Research
SID	Standard Instrument Departure
SISNeT	Signal-In-Space through the Internet
SISNeT UAS	Signal-In-Space through the Internet User Application Software
SMS	Short Message Service
SNAS	China's Satellite Navigation Augmentation System
SoL	Safety of Life
SPS	Standard Positioning Service
STAR	Standard terminal Arrival Route
SUM	Software User Manual
TAL	Time to Alert
TBO	Trajectory Based Operation
TEQC	Translation, Editing, Quality Checking
TMA	Terminal Manoeuvring Area

UPV	Universitat Politècnica de València
UTC	Universal Time Coordinated
VHF	Very High Frequency
VNAV	Vertical NAVigation
VNSE	Vertical Navigation System Error
VOR	VHF Omnidirectional Range
VPE	Vertical Position Error
VPL	Vertical Position Limit
VSI	Vertical Safety Index
WAAS	Wide Area Augmentation System
WGS84	World Geodetic System 84 (GPS Terrestrial Reference Frame)

# I. MEMORIA

# 1. Introducción

La aviación, desde su implantación como método de transporte civil, ha estado basada en sistemas de posicionamiento como las radioayudas terrestres, sistemas que proporcionan información acerca del guiado de la aeronave. Viendo el buen desarrollo de las mismas, nadie podía pensar hace años en lo que llamamos “navegación por satélite”.

No obstante, hoy en día se encuentra en plena fase de crecimiento. Nos referimos a ello como GNSS (del inglés Global Navigation Satellite System). Por un lado, tenemos el GPS y GLONASS, sistemas que marcan el origen de la navegación por satélite, mientras que por otro lado observamos el europeo Galileo, proyecto en desarrollo y despliegue. Esto nos muestra la importancia de estar a la cabeza de la tecnología de navegación y posicionamiento por satélite, tanto en el sector del que este trabajo parte, como es la aviación, como en el marítimo, ferroviario, agrícola o en referencia a cualquier usuario móvil.

El gran desarrollo y mejoras de estos sistemas es visible siguiendo las decisiones tomadas por la ICAO (del inglés International Civil Aviation Organization), donde se busca integrar los sistemas GNSS poco a poco con los actuales sistemas de posicionamiento, en vistas a una futura sustitución completa de los mismos. Entre las principales ventajas de los sistemas GNSS, destacan su buen uso en cualquier condición meteorológica, un mantenimiento mucho más rentable de la infraestructura y la mejora en las prestaciones del servicio.

Si bien son ciertas estas ventajas, los sistemas GPS y GLONASS no cumplen los requisitos necesarios de continuidad, integridad, disponibilidad y precisión para la navegación aérea de acuerdo a lo establecido por la ICAO. Es por ello por lo que necesitan sistemas de aumentación para solucionar dicho problema: ABAS (Aircraft Based Augmentation System), GBAS (Ground Based Augmentation System) y SBAS (Satellite Based Augmentation System).

En este trabajo se va a realizar un estudio sobre uno de estos sistemas de aumentación, en particular el SBAS europeo llamado EGNOS (del inglés European Geostationary Navigation Overlay Service), mediante la certificación del LPV-200 en operaciones de aproximación. El LPV-200 supone un equivalente al ILS CAT I, aportando guiado vertical en aproximaciones de precisión.

La mencionada mejora en las prestaciones de la navegación para el sector aeronáutico, trae consigo un gran cambio en la concepción del tráfico aéreo actual: optimización del espacio aéreo empleado mediante un incremento de los tráficos simultáneos (pues sabremos con mayor precisión la posición de cada uno), creación de nuevas rutas más económicas y sostenibles por la reducción del consumo de combustible y una reducción en la contaminación acústica y medioambiental, entre los cambios más destacables.

Podemos ver en la Figura 1.1 como se encuentra la situación de la implementación de procedimientos de aproximación donde se utiliza EGNOS y los aeropuertos y helipuertos de Europa. Esto nos muestra que el presente trabajo cubre un tema de actualidad, realizando labores que muchos de los aeropuertos de la imagen harán en cuanto sea el momento de su implementación.

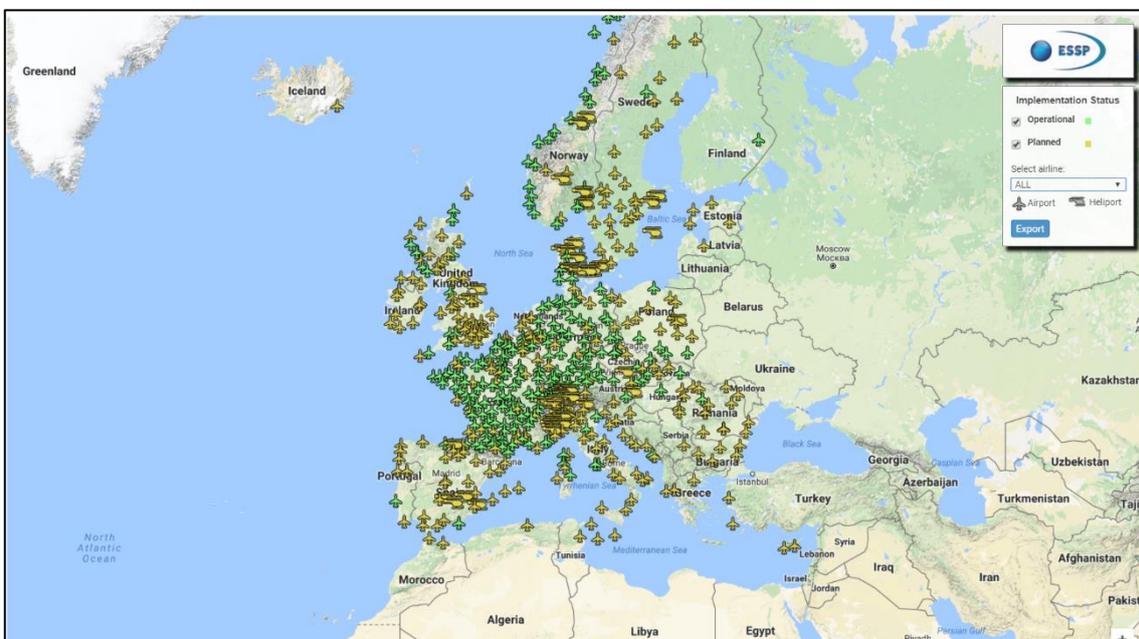


Figura 1.1: Situación actual de la implementación en Europa de los procedimientos EGNOS.

Como se puede observar, en Europa la mayor implementación se ha realizado en Francia y Alemania, estando previstos muchos tanto en el Reino unido como España, pero en términos generales hablamos de planes para cubrir la práctica totalidad de los países. En lo referente a España, los dos primeros aeropuertos en implementar los sistemas de aumentación fueron Santander y Málaga. El buen resultado producido por ambos es lo que ha supuesto la decisión de planificar la implementación en la mayoría de aeropuertos del territorio nacional.

## 2. Objetivo

La finalidad de este trabajo consiste en la certificación de un sistema LPV-200. Para ello se hará una simulación y análisis de los diferentes pasos que AENA propone para cualquier proceso de validación de un sistema de estas características. El objetivo del trabajo es la realización de este análisis para Valencia. Esto se divide en diferentes etapas, como la campaña de datos de largo plazo, campaña de datos sobre el terreno, ensayo de vuelo y diseño de procedimientos.

Para conseguir alcanzar dichos objetivos, primeramente se explicará con detalle todo lo referente a los sistemas GNSS, tanto los activos como aquellos que se encuentran en fase de desarrollo, se abordarán los sistemas de aumentación particularizando para SBAS y EGNOS. A continuación, se relacionará GNSS con PBN, se le dibujará un marco de actualidad a través de la presentación de SESAR y se entrará en detalle con las diferentes características de un sistema LPV-200. Finalmente, se hará el estudio de los datos de Valencia.

En esta última etapa, será de vital importancia el entendimiento de datos en formatos como RINEX y el uso de diferentes softwares, entre los que destacar Hatanaka, Teqc y PEGASUS, software desarrollado por EUROCONTROL para que los usuarios puedan analizar los datos que se reciben de GNSS.

El trabajo constará, por lo tanto, de una parte de análisis y simulación de datos, otra de análisis de datos reales tomados directamente en Valencia y una última en la que se trabajará con diseño de procedimientos, siguiendo toda la normativa vigente.

Puesto que no se ha podido acceder a los datos de ensayo de Vuelo, se ha optado por comprobar que el procedimiento de análisis y certificación aplicado era correcto realizándolo sobre los datos de Alicante, datos que se exponen en el presente trabajo.

# 3. Sistemas GNSS

## 3.1. Descripción

Uno de los mayores desafíos a los que se ha enfrentado la humanidad durante su desarrollo ha sido la orientación y el posicionamiento. Desde sus orígenes, ya se empezó con el estudio de los cuerpos celestes, principalmente el Sol y la Luna, dando lugar a calendarios que no distan mucho de los que utilizamos hoy en día. Posteriores civilizaciones hicieron un estudio de las estrellas, comenzando la orientación mediante la astronomía. Esta se mantuvo por muchos años hasta la llegada de la radio, lo que supuso un gran cambio en la forma de navegar, seguido del desarrollo de radioayudas como los NDB, VOR, etc.

Entendemos por orientación el acto de ubicarnos en el espacio y el tiempo. Ayudándonos de sistemas GNSS, hablaremos de calcular la posición de un usuario de la red de satélites a la que este esté conectado.

Estos sistemas, los de Navegación Global por Satélite, son los que usamos en la actualidad para llevar a cabo la tarea de la orientación, con señales que ayudan a la orientación 3D y temporal, con cobertura global. Esto los hace particularmente apropiados para sectores diferentes al de la navegación, como la agricultura o geodesia. La posibilidad de que podamos usar dichos sistemas para posicionarnos tan precisamente marca su origen en la eliminación de la Disponibilidad Selectiva en el año 2000 para los satélites de GPS.

La existencia del sistema GLONASS también ha contribuido en el desarrollo de esta manera de posicionamiento. Algunas de las ventajas conseguidas son la posibilidad de mejorar la utilización del espacio aéreo y su seguridad, un menor impacto medioambiental o tener cobertura global con receptores de reducido valor.

Los mencionados sistemas GNSS usan el WGS84 como sistema de referencia inercial. En España el sistema oficial es otro, el ETRS89, el cual es compatible con el WGS84 y produce un mejor resultado en el territorio europeo.

Los GNSS los podemos dividir en tres diferentes segmentos:

- Segmento de control o terrestre. Segmento formado por todas las estaciones terrestres encargadas de recibir, monitorizar y actualizar la información de los satélites. En estas estaciones se realizan las correcciones que se estiman

necesarias y se mandan a los satélites para que estos otorguen la posición correcta.

- Segmento espacial. Segmento que engloba la totalidad de los satélites que forman parte de la constelación. Se suele requerir un total de entre 21 y 30 satélites, al menos 3 de ellos visibles para un posicionamiento 2D.
- Segmento usuario. Segmento en el que se incluyen todos aquellos receptores con la posibilidad de detectar una señal GNSS. Formados por antenas GNSS y un reloj mediante el cual calcular los parámetros necesarios para obtener las coordenadas.

A continuación, se explican los diferentes segmentos especiales de los sistemas GNSS, tanto los que se encuentran activos como aquellos que están en fase de desarrollo.

## 3.2. Constelaciones

### 3.2.1. Activas

#### *GPS*

Propiamente dicho, la constelación a la que vamos a hacer referencia recibe el nombre de NAVSTAR, y esta forma parte del sistema GNSS llamado GPS. Este comenzó su desarrollo en la década de los 70, con propósito militar, y actualmente NAVSTAR tiene suficientes satélites como para asegurar que se tendrá al menos 4 simultáneos en vista desde cualquier punto del globo.

En cuanto a las frecuencias que usan los satélites, encontramos dos portadoras en la misma banda de frecuencia, la banda L. La primera (a la que nos referiremos como L1) se emite a 1575.4 MHz. La segunda (L2) lo hace a 1227.6 MHz. El hecho de transmitir dos frecuencias diferentes ayuda a la eliminación del efecto de retardo que produce la ionosfera. Más allá de estas dos frecuencias principales, encontramos otras señales, tanto civiles (L1C en satélites de Bloque III, L2C en satélites del Bloque IIR-M y L5 en 1176.45MHz) como militares (L1M y L2M).

Al ser una constelación con tantos años, los satélites se han ido agrupando en diferentes bloques de acuerdo a la generación a la que pertenecen. Principalmente podemos distinguir el Bloque I, los primeros lanzados entre 1978 y 1985 y actualmente fuera de uso, el Bloque II y sus diferentes subgrupos, donde cada subgrupo suponía una mejora respecto al anterior, hasta llegar al Bloque IIF. Por último, existe el Bloque III, satélites que empiezan a incorporar la frecuencia L1C y cuya fecha de lanzamiento empieza en 2017.

De los mensajes recibidos, podemos diferenciar 3 tipos diferentes de código: el Código C/A, transmitido en frecuencia L1 y de libre acceso, el Código P, transmitido por ambas L1 y L2 y de carácter militar (más preciso que C/A) y el Mensaje de Navegación, que aporta toda la información, como almanaques, efemérides, correcciones, etc.

Para las restricciones en los servicios, se utilizan dos tipos diferentes de protección como son:

- Disponibilidad Selectiva. Definida como una degradación intencionada sobre el reloj del satélite y manipulación sobre las efemérides. La primera afecta sobre la frecuencia y en consecuencia sobre los pseudorángos calculados por los usuarios mientras que la segunda afecta a la posición horizontal directamente. Como ya se ha mencionado, fue en el año 2000 cuando esta característica se deshabilitó.
- Anti-Spoofing. Es una encriptación del código P mediante otro código secreto W, resultando en un código al que se llama Y y se modula en L1 y L2. De esta manera, sólo personal autorizado es capaz de acceder a la información emitida.

### **GLONASS**

El GNSS ruso, recibe el nombre de GLONASS (del ruso GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema). Es la medida que tomó la Unión Soviética en vistas de que los estadounidenses habían comenzado con el GPS. Actualmente es una alternativa o complemento tanto al GPS, como al Sistema de Navegación chino Compass y al europeo Galileo.

Los primeros satélites se lanzaron en 1982, manteniendo lanzamientos hasta 1993 cuando se declaró que el sistema era operacional, llegando al estado óptimo en 1995 con 24 satélites en órbita. Posteriormente, debido a los problemas económicos del país, el sistema se vio reducido ante la imposibilidad de mantener el número de satélites. Fue en 2007 cuando se comenzó el plan de puesta a punto y liberalización del servicio, haciéndolo gratuito y sin limitaciones para cualquier usuario.

Esta nueva puesta a punto se realizó con el lanzamiento de diversos GLONASS-M, cuya duración de vida no excedía los 7 años. Por ello se han ido reemplazando por GLONASS-K. Estos satélites transmiten en dos bandas diferentes, la G1 de 1602 MHz y la G2 de 1246 MHz. Esta última generación de satélites también es capaz de transmitir en la nueva G3.

Este sistema también ofrece dos servicios diferentes, al igual que hacía GPS: el SPS (del inglés Standard Positioning Service), servicio con el que todo usuario puede acceder a posicionamiento transmitido por G1 y G2 y el PPS (del inglés Precise

Positioning System) que otorga características mejoradas y es de uso militar. Este último también transmite por G1 y G2 con encriptación.

### ***IRNSS***

IRNSS recibe su nombre de Indian Regional Navigational Satellite System, y es un Sistema de Navegación por satélite regional. Dará servicio alrededor de la India, en unos 1500 km, cubriendo así zona marítima. Con la puesta en órbita del último de sus satélites, el sistema se ha renombrado como NAVIC (del inglés NAVigation Indian Constellation), estando operativo desde ese momento.

Consta de un total de 7 satélites, tres de los cuales son de órbita geoestacionaria y los cuatro restantes serán satélites geoestacionarios. Se ha conseguido así cumplir con la consideración de reducir el número máximo de satélites como de tener una visibilidad continua sobre la India. El primero de los satélites se lanzó en 2013, tras la aprobación en 2006 del proyecto. Este contemplaba finalizar a finales de 2015, pero se vio retrasado hasta mediados del año 2016, momento en el que el IRNSS-1G se puso en órbita.

Estos satélites proporcionarán dos servicios, de igual manera que ya lo hacían GPS y GLONASS: el SPS y el PS (Precision System), modulados en las dos portadoras del sistema, L5 (1176.45 MHz) y la banda S (2492.08 MHz). La precisión del sistema será de 20m sobre la región del Océano Índico y menor a los 10m en la India y países colindantes.

## **3.2.2. En Desarrollo**

### ***QZSS***

Este GNSS viene de Quasi-Zenith Satellite System, Sistema de Navegación por satélite japonés, con cobertura en el este asiático y Australia, en colaboración con datos de otros sistemas GNSS. Su aprobación tuvo lugar en 2002, pero no fue hasta 2010 que se lanzase el primero de los 3 satélites que en origen formarían el sistema.

Ya en 2013 se aprobó que el sistema tuviera 4 satélites y no 3 como se definió al principio. Tres de ellos serán de órbita Quasi-Zenith y el último geoestacionario. Se prevé el lanzamiento de los tres satélites restantes antes de 2018, de tal manera que el sistema sea completamente operativo en ese año.

QZSS opera con 6 señales diferentes: L1-C/A (1575.42 MHz), L1C (1575.42 MHz), L2C (1227.6 MHz) y L5 (1176.45 MHz) como señales combinadas con otras de diferentes GNSS, L1-SAIF (1575.42 MHz) como señal interoperable con GPS-SBAS y finalmente LEX (1278.75 MHz) que es una señal experimental para una precisión muy alta (de hasta 3cm) y compatible con la señal E6 de EGNOS.

Los servicios que QZSS puede aportar son tanto los relacionados con el posicionamiento como con la mensajería. En cuanto al posicionamiento tiene: SPS (de características similares al GPS), Sub-Meter y Centimeter Level Augmentation Service (mejorando la precisión hasta 2-3m y 10 cm relativamente) y Position Technology Verification Services (generando ayuda para tecnologías de posicionamiento).

### ***Beidou***

El sistema de posicionamiento chino recibe el nombre de Beidou Navigation Satellite System. Está compuesto actualmente por dos constelaciones de satélites, la primera de ellas operativa desde el año 2000 y de capacidades limitadas y otra en desarrollo con vistas a proporcionar cobertura global. BeiDou-1, la primera de las constelaciones, está formada por 3 satélites y proporciona cobertura a la región de China y alrededores.

La segunda generación, BeiDou-2 o también conocida como COMPASS, es una constelación que prevé tener 35 satélites para el año 2020. Se está desarrollando a partir de BeiDou-1 y de los 35 satélites, 5 serán de órbita geoestacionaria y los otros 30 de órbitas menores.

Dadas las características que el sistema ha adquirido durante su desarrollo, es capaz de proveer con servicios tanto globales como regionales. En lo referido a los primeros, sigue la misma idea que los sistemas descritos anteriormente, con un Servicio Libre (Open Service) que mantiene los mismos principios que GPS y otorga una precisión de 10m y otro servicio Autorizado (Authorized Service) del cual no hay apenas información, pero garantiza funcionamiento en situaciones mucho más complejas. Cuando hablamos de los servicios regionales, hacemos referencia a Wide Area Differential Service, con el que se consigue precisión de CAT-I a nivel local y que puede llegar a dar precisión de 1 metro y Short Message Service (SMS) que permite el intercambio de mensajes entre estación y usuario.

Finalmente, podemos decir del sistema que es compatible con GPS y mejora sus resultados en disponibilidad, geometría y precisión.

### ***Galileo***

El programa Galileo es una iniciativa europea para poder tener un Sistema de Navegación por satélite propio. Al contrario que los sistemas anteriores (GPS, GLONASS, BeiDou e IRNSS), Galileo es un sistema de posicionamiento global con control civil, construido en conjunto por la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Comisión Europea. Constará de 30 satélites, de los cuales hay 18 en órbita y 14 operacionales (los cuatro restantes están pasando a través de test).

El sistema europeo presenta mayor diversidad de servicios que los sistemas introducidos anteriormente, como son:

- Open Service (OS): Como anteriormente, sistema abierto a cualquier usuario. Tiene una precisión de hasta un metro y provee con información de posicionamiento y sincronización para aplicaciones de gran volumen de datos.
- Contribución a la monitorización de la integridad: utilizado para monitorizar la integridad del servicio Safety-of-Life (SOL) mediante el OS o en colaboración con otros Sistemas de Navegación.
- Commercial Service (CS): como existía en el resto el servicio de precisión, aquí encontramos el servicio comercial. De forma encriptada, aporta precisión centimétrica y está pensado para el desarrollo de aplicaciones de uso profesional y comercial
- Public Regulated Service (PRS): servicio restringido para usuarios gubernamentales y autorizados, donde las aplicaciones requieran un alto servicio de continuidad. Con una robustez mayor a la presentada por el CS, incluirá mecanismo de detección de errores y anti-jamming.
- Search and Rescue Service (SAR): servicio preparado para la localización de señales de emergencia transmitidas por usuarios, facilitando el rescate de los mismos.

El sistema Galileo transmite en 4 frecuencias diferentes que llamamos E1 (1575.42 MHz), E5a y E5b (1176.45 MHz y 1191.795MHz respectivamente) y E6 (1278.75 MHz). La señal E1 ofrece los servicios Abierto (OS) y el Público Regulado (PRS), conteniendo a su vez los códigos de PRN, los datos de navegación sin encriptar y la integridad del sistema. En cuanto a las señales E5a y E5b, aportan los servicios Abierto (OS), Comercial (CS) y Safety-of-Life. Finalmente, E6 ofrece los servicios Público Regulado y Comercial, y al igual que E1 aporta la información de PRN e información de navegación, pero esta vez encriptada para uso de las autoridades.

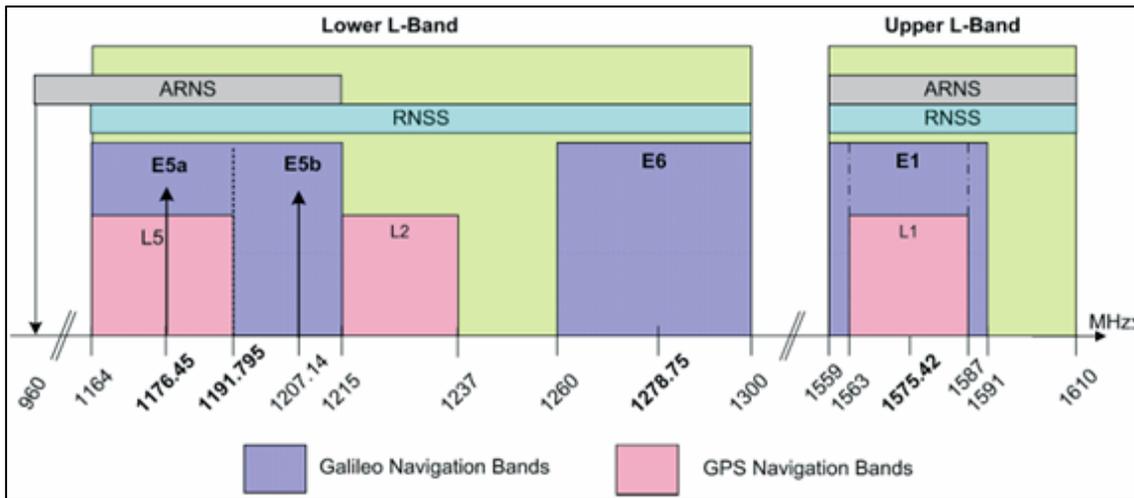


Figura 3.1: Bandas de frecuencia del programa Galileo y su distribución en la banda L.

Como podemos ver en la Figura 3.1, las bandas de Galileo están repartidas de tal manera que E5a, E5b y E6 se encuentran en la banda de Servicio para la Radionavegación Aeronáutica.

Por último, las prestaciones que Galileo puede ofrecer cambian dependiendo de la aplicación a la que hagan referencia. Para el OS encontramos que no hay requisitos determinados de integridad y una precisión de 4m para horizontal y 8 en vertical. Para el PRS, encontramos esta vez sí requisitos para precisión, integridad, continuidad y disponibilidad.

### 3.3. Sistemas de aumentación

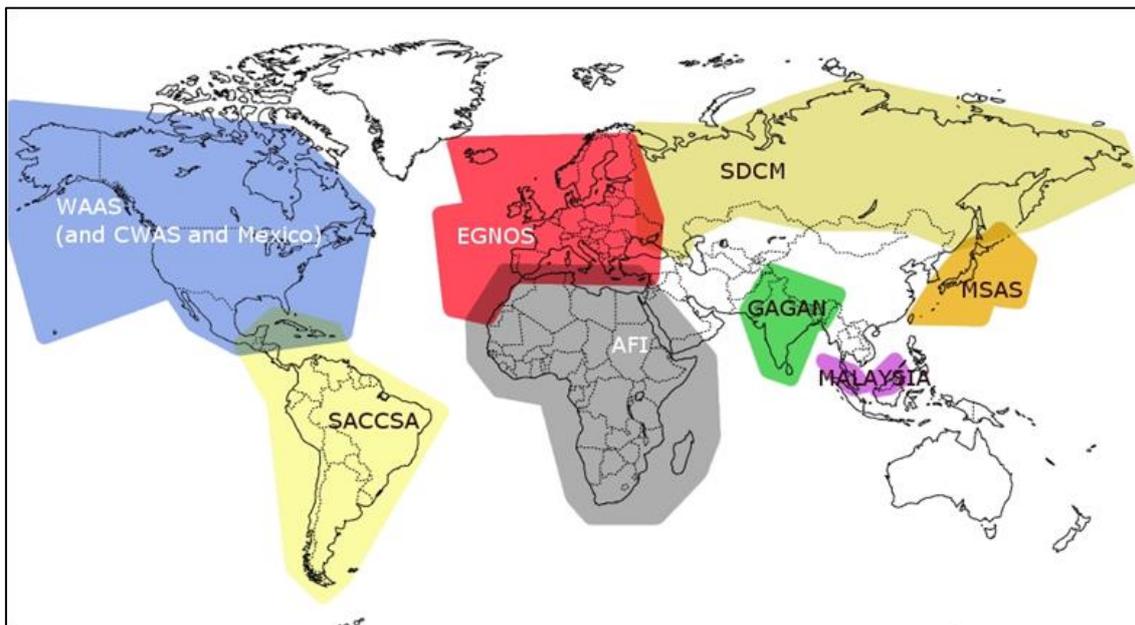
Atendiendo a las descripciones vistas hasta ahora, podemos diferenciar como los sistemas globales (GPS y GLONASS) proveen con un servicio peor en comparación con los sistemas regionales, teniendo a cambio una mayor cobertura. Este peor servicio se define como no cumplir con los requisitos mínimos de navegación (que se describen en el apartado 4 y son las prestaciones de precisión, continuidad, integridad y disponibilidad).

Para poder suplir esta característica y así usar los Sistemas de Navegación global en un mayor rango de aplicaciones, se decidió mejorar los cálculos de posicionamiento, introduciendo nuevas variables de corrección. Así, dependiendo del tipo de variable o dato añadido, se dio lugar a los 3 tipos de aumentación que conocemos: si introducimos las fuentes de error hablaremos de SBAS (Satellite Based Augmentation System), si introducimos medidas directas con el desvío de la señal hablaremos de GBAS (Ground Based Augmentation System) y, por último, si introducimos información adicional del vehículo será ABAS (Aircraft Based Augmentation System).

- El **Sistema de Aumentación por Satélite** o **SBAS** se trata de un sistema de seguridad crítica de la aviación civil, presente en forma de Área extensa o regional. Esto lo hace a través de satélites geoestacionarios (que forman el segmento espacio), los cuales transmiten la información necesaria para asegurar la integridad (objetivo principal) y correcciones para mejorar la precisión.

En cuanto al segmento tierra, lo que hace es recibir la información de los satélites, trata los datos y emite una corrección de nuevo a estos, quienes la transmitirán al último segmento (segmento usuario). Este utiliza la señal para corregir la posición en caso de ser necesario.

De todos los sistemas SBAS que podemos encontrar, actualmente hay tres que ya están operativos (EGNOS, WAAS y MSAS), tres más implementándose (GAGAN, SDCM y SNAS) y otros en fase de estudio (SACCSA, AFI y MALAYSIA). Si todos llegan a estar operativos, la cobertura mundial luciría como se ve en la Figura 3.2. EGNOS es el sistema utilizado en el presenta trabajo, y será mayormente descrito en el apartado 5.2 del mismo.



*Figura 3.2: Diferentes sistemas SBAS y su distribución global.*

- El **Sistema de Aumentación Basado en Tierra** o **GBAS**, vuelve a ser un sistema de seguridad crítica de la aviación civil que se centra en la mejora de las prestaciones GNSS a nivel local, haciéndolo ideal para las operaciones en los alrededores del aeropuerto. Tiene una precisión de menos de un metro de error, pero a cambio ve reducido su rango de cobertura.

La arquitectura repite el triple segmento, teniendo parte espacial, tierra y usuario. En este caso es el segmento tierra quien proporciona las correcciones a aplicar, calculando los pseudorangos con los satélites GNSS primarios en órbita y obteniendo así la corrección diferencial. Esta información se transmite directamente a la aeronave junto a información de integridad, en la banda de frecuencia VHF.

- Por último, tenemos el **Sistema de Aumentación Basado en Aeronave o ABAS**. No proporciona mejora alguna de precisión, disponibilidad ni continuidad, sino que lo hace de la integridad. Esto lo hace a partir del RAIM (del inglés Receiver Autonomous Integrity Monitoring), el cual es capaz de comprobar el buen funcionamiento de todos los satélites y en caso de detectar algún fallo, el FDE (del inglés Fault Detection and Exclusion) excluye la señal de ese satélite, permitiendo así que se siga usando el servicio. Es apto para las fases de llegadas y salidas y en ruta.

## 4. Prestaciones

Las prestaciones son una forma de medir la actuación de los Sistemas de Navegación. Habitualmente se mide el error en la resolución (precisión) y la parte de tiempo en que la aplicación se puede utilizar (disponibilidad).

Para aviación, igual que para otras operaciones como la marítima, un gran error en la resolución puede aparecer sin aviso, sucediendo esto sin violar los requisitos de precisión. Por ello se creó el concepto de integridad como la medida de la probabilidad de que tales situaciones ocurriesen. Por último, dada la criticidad de operaciones de vuelo como la aproximación y el aterrizaje, es necesario el continuo funcionamiento de los sistemas, creándose así el cuarto concepto que es el de continuidad.

Precisión, Disponibilidad, Integridad y Continuidad son las cuatro prestaciones que se van a describir a continuación.

### 4.1. Precisión

En términos generales, la precisión se puede definir como la diferencia existente entre las posiciones estimada y real. Puesto que se trata de una medida estadística de actuación, ha de ser expresada como un percentil de la distribución de errores. Habitualmente se trata del percentil 95 (al que corresponde una  $\sigma=1.96$ ), pero también se puede encontrar el uso del percentil 99 o 50. Esto significa, cogiendo el caso del percentil 95, que el 95% de las medidas que se realizan tendrán un error menor o igual al valor de precisión establecido.

Otros parámetros que se aportan para tratar la precisión del sistema son la desviación y media de los errores horizontales y verticales (HNSE o Horizontal Navigation System Error y VNSE o Vertical Navigation System Error respectivamente).

**Table 6 4 LPV-200 accuracy**

	Definition	Value	APV-I requirement
Horizontal	Corresponds to a 95% confidence bound of the 2-dimensional position error <sup>18</sup> in the horizontal local plane for the Worst User Location <sup>19</sup>	3m	16m
Vertical	Corresponds to a 95% confidence bound of the 1-dimensional unsigned position error in the local vertical axis for the Worst User Location	4m	6m to 4m

17. Annex 10 of the Chicago Convention, Attachment D, 3.4.3.4: "For those areas where the system design does not meet the average continuity risk specified in the SARPs, it is still possible to publish procedures. However, specific operational mitigations should be put in place to cope with the reduced continuity expected. For example, flight planning may not be authorised based on GNSS navigation means with such a high average continuity risk".

18. As for the case of range errors, the horizontal and vertical positioning accuracies correspond to a composition of residual errors from different sources (EGNOS ground and space segments, local environment and user segment). The assumptions taken on residual error sources beyond the control of EGNOS (e.g. tropospheric effects, receiver noise and multipath) are similar to the ones described in section 4.3.

19. The definition of Worst User Location can be found in Appendix C

*Figura 4.1: Datos de Precisión para LPV-200 del SoL Documento de Definición.*

Como podemos ver en Figura 4.1, los requisitos establecidos por la OACI para operaciones de Aproximación con guiado Vertical (APV-1) establecen una precisión horizontal de 16m y de entre 4m y 6m para el plano vertical. Los valores de EGNOS cumplen estos requisitos perfectamente, aportando un error de 1m en el plano horizontal y alrededor de 2m en el vertical.

## 4.2. Disponibilidad

Se puede definir la disponibilidad de un Sistema de Navegación como el porcentaje de tiempo que el servicio del sistema es utilizable por el receptor, usuario o una aplicación particular. Se utiliza como un indicador de la capacidad del sistema para, considerando un área de cobertura específica, proveer con un servicio utilizable. La disponibilidad de la señal es el porcentaje de tiempo en el cual la señal de navegación transmitida por fuentes externas se encuentra disponible para su uso. Se puede expresar como función de dos magnitudes, como son las características físicas del medio y las capacidades técnicas de las facilidades de transmisión.

Se pueden considerar diferentes particularizaciones para el concepto de disponibilidad según se considere la disponibilidad de la señal de un determinado satélite o si se considera la disponibilidad de la posición, velocidad y tiempo (conocido como PVT) de la constelación al completo.

Centrándonos en la primera, podemos decir que la disponibilidad de una señal útil de un satélite determinado se relaciona con el correcto funcionamiento del mismo

satélite. La disponibilidad de dicha señal sólo garantizará que el pseudorange de ese satélite será conocido.

Por otro lado, en el caso de disponibilidad de PVT, primeramente se necesita el bloqueo de la señal de, al menos, 3 satélites (para un posicionamiento de 2D y el tiempo), pudiendo llegar a ser de 4 para posicionamiento 3D. También se pueden añadir restricciones adicionales para definir la disponibilidad del sistema con esta contemplación: puede que una aplicación requiera que PVT tenga un error por debajo de un umbral determinado y sólo pueda ser usado en ese caso, por lo que diremos que el sistema tiene disponibilidad únicamente cuando se cumpla el error de requerimientos. A su vez, esto sólo tiene sentido en el caso de que el sistema posea integridad o haya un sistema de referencia para medir errores, evitando así que la aplicación no tenga forma de conocer si se sobrepasa o no el límite establecido.

La prestación de disponibilidad se puede ver afectada por diferentes factores, siendo el más importante de ellos la configuración de la constelación y su visibilidad en la localización y alrededores del usuario.

Como se puede ver en la Figura 4.2, EGNOS cumple con una disponibilidad de más del 99% con la señal SBAS en la práctica totalidad de Europa.

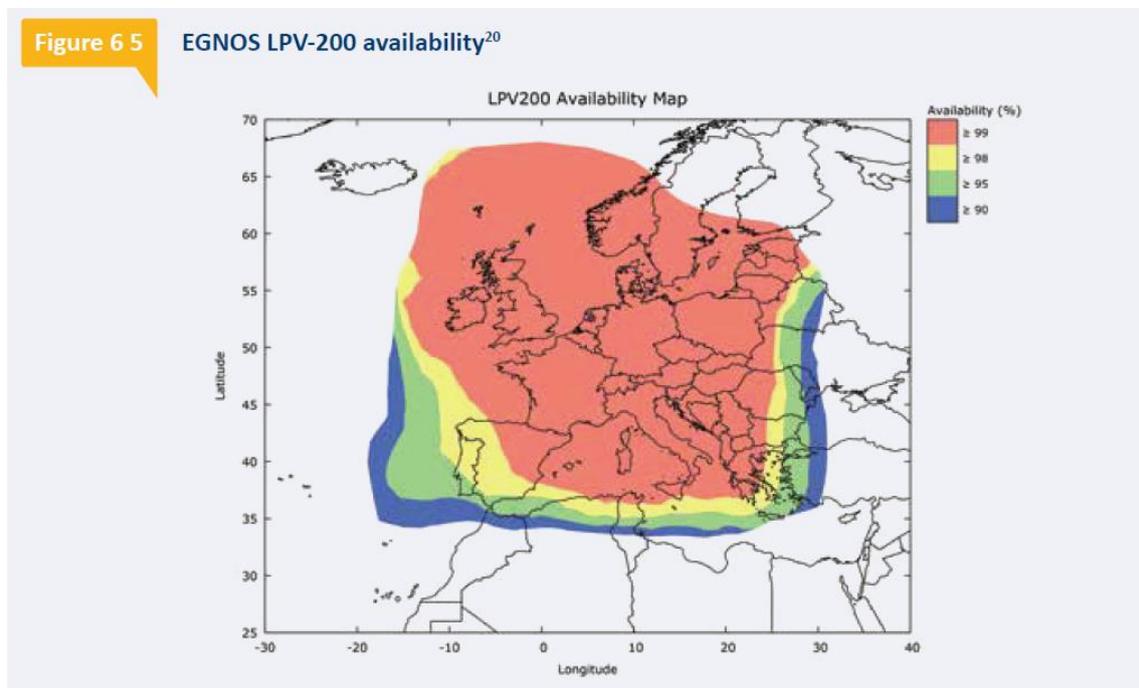


Figura 4.2: Extracto de los datos de Disponibilidad para LPV-200 del SoL Documento de Definición.

## 4.3. Integridad

La integridad es un parámetro con el que medir la confianza que se puede depositar en el correcto funcionamiento del suministro de información por un Sistema de Navegación. La integridad incluye la capacidad de un sistema para alertar a tiempo al usuario de que el sistema no está comportándose correctamente y no debe de ser usado para la navegación.

Esta definición se haya algo incompleta, por lo que resulta necesario definir 4 parámetros más para poder comprender completamente el concepto:

- Alert Limit (AL), Límite de Alerta: es el error en la tolerancia que no se debe exceder sin emitir una alerta para un parámetro de medida determinado.
- Integrity Risk (IR), Riesgo de Integridad: la probabilidad de que el error de posición exceda el Límite de Alerta en cualquier momento.
- Protection Level (PL), Nivel de Protección: error estadístico acotado para garantizar que la probabilidad de que el error absoluto de precisión exceda dicho número sea menor o igual al riesgo de integridad objetivo.
- Time to Alert (TAL), Tiempo de Alerta: tiempo máximo tolerable que puede transcurrir desde el momento en que el equipo supera el error de tolerancia establecido hasta que el sistema es consciente de dicha alerta.

En la Figura 4.3 se analizan los posibles comportamientos descritos por los niveles de protección y límites de alerta en combinación con el error de posición. Estudiando el caso horizontal (de ahí la H que precede a las siglas anteriormente descritas), hablaremos de que el sistema está disponible si el Límite de Alerta es superior al Nivel de Protección y este a su vez superior al Error en la Posición. En cambio, el sistema se encontrará fuera de servicio en el caso que el Nivel de Protección sea mayor que el Límite de Alerta pues deberá aparecer una alerta por integridad. Finalmente, si se diese la situación en que el Error de Posición fuese superior al Nivel de Protección hablaríamos de un caso Fuera de Tolerancia, ya que esta situación no puede darse.

Para poder medir esta integridad, podemos hacer uso de las dos herramientas existentes e interpretarlas con su representación gráfica. Se tratan de los índices de seguridad y los diagramas de Stanford.

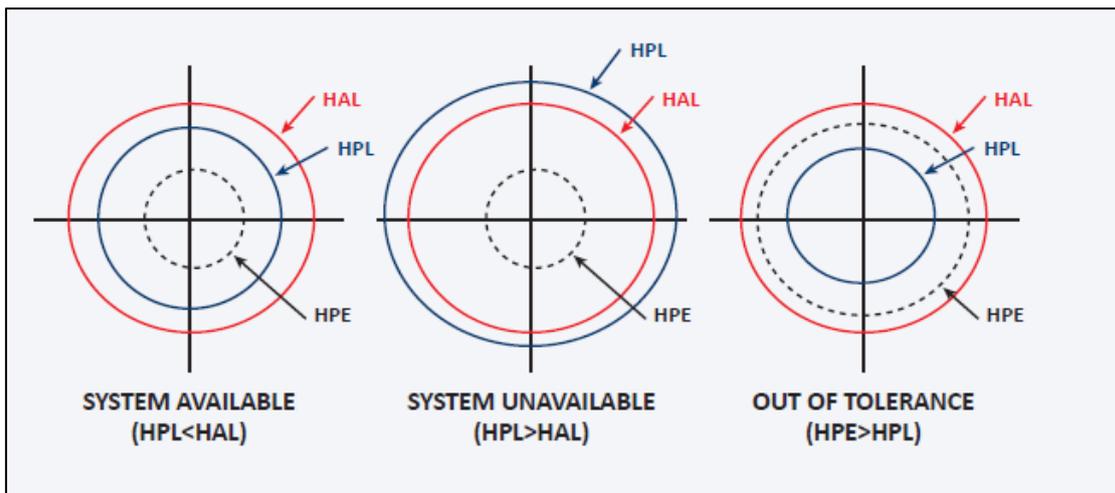


Figura 4.3: Posibles situaciones de los niveles de protección de EGNOS.

En lo que concierne al primero, hablamos de la relación que existe entre el error presente en el Sistema de Navegación y el Nivel de Protección. Esta relación ha de ser siempre menor a uno para poder decir que la operación que se esté llevando a cabo sea segura. En el caso de EGNOS, encontramos valores prácticamente siempre inferiores a 0.5.

En cuanto al Diagrama de Stanford, encontramos un gráfico en el cual el eje de abscisas representa el valor del error absoluto de la posición y las ordenadas los niveles de protección asociados. Se encuentra dividido por una diagonal que expresa la igualdad entre parámetros. Esto indica que si nos encontramos por encima del error de posición está cubierto por el límite de protección, siendo al contrario por debajo. De forma visual se puede interpretar la información de integridad, dando lugar a dos tipos de eventos de integridad, como son la información engañosa (MI) o la información altamente engañosa (HMI).

- MI (Misleading Information). Un evento MI ocurre cuando el Error de Posición sobrepasa el Nivel de Protección, pero no el Límite de Alerta, estando el sistema declarado disponible.
- HMI (Hazardously Misleading Information). En este caso, un sistema disponible tiene un Error de Posición superior al Límite de Alerta.

Ambos eventos se pueden dar de forma horizontal o vertical, lo cual nos da la posibilidad de dibujar diagramas para cada una de las componentes. Los diagramas de Stanford nos permiten pues acceder de manera rápida y sencilla a la información de integridad, asegurándonos que todos los puntos del diagrama permanezcan por encima de la diagonal. Si la nube de puntos representados se aproximase a la diagonal, nos

estaría dando una idea del Nivel de Seguridad alcanzado, dado que cualquier punto que se encontrase por debajo de la diagonal indicaría que un evento de integridad se ha quedado cerca de ocurrir.

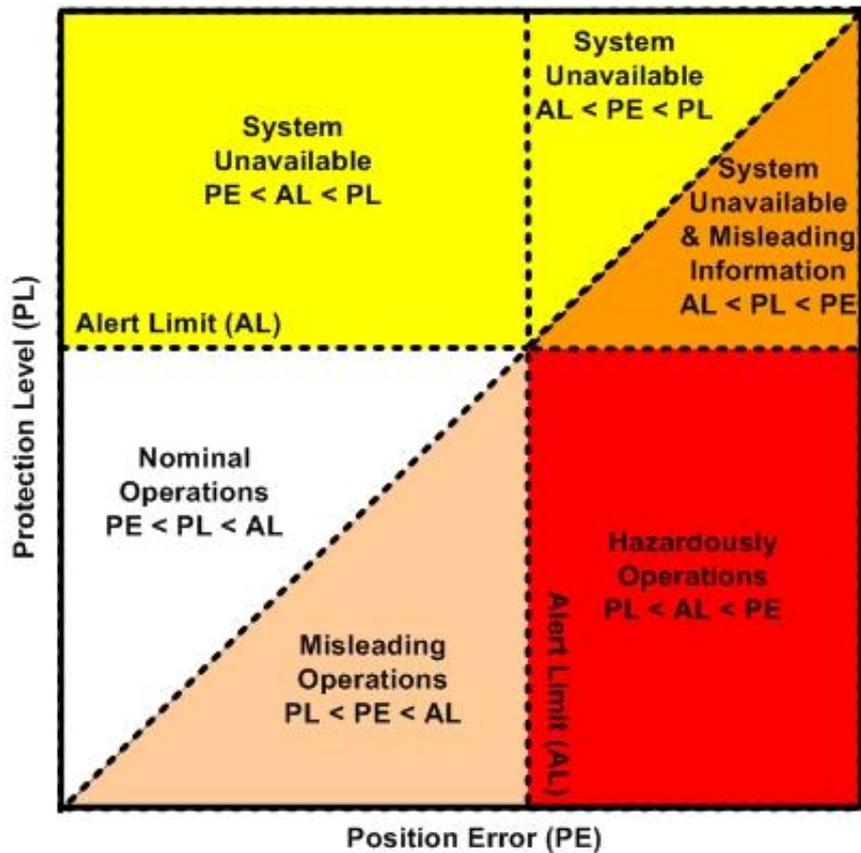


Figura 4.4: Diagrama de Stanford.

Atendiendo a la Figura 4.4, observamos de forma discontinua la línea diagonal que indica la igualdad entre Error de Posición y Nivel de Protección. Por encima de esta vemos dos secciones diferentes, ambas contempladas dentro de la condición que el Nivel de Protección es superior al Error, que son la zona de operación normal, donde el Límite de Alerta se conserva superior al Nivel de Protección (zona donde las operaciones son óptimas). La otra zona que encontramos es aquella en la que el Nivel de Protección es superior al Nivel de Alerta, dando así una situación en la que garantizar la realización de la operación no es posible y por ello el sistema dejaría de estar disponible.

Por debajo de la línea (con el Error de Posición por encima del Nivel de Protección, un sistema carente de Integridad), también podemos distinguir dos zonas diferentes y que responden a los eventos descritos anteriormente. La zona MI, aquí el Error de Posición no supera el Límite de Alerta, creando una operación peligrosa y la zona HMI donde este Error supera el Límite y podemos no ser notificados de tal situación.

## 4.4. Continuidad

Para definir la continuidad de un sistema, hablaremos de la capacidad del mismo en su conjunto para llevar a cabo su función sin interrupción en el servicio durante el cual se asume tiene que funcionar. Más específicamente, la continuidad es la probabilidad de que un determinado sistema mantenga su ejecución y proporcione unas prestaciones mínimas durante la fase de operación, asumiendo que el sistema estaba disponible al comienzo de la mencionada fase de operación.

En navegación aérea, la continuidad usualmente se mide como la probabilidad de que el sistema mantenga sus capacidades operativas bajo los requerimientos operacionales durante un cierto periodo de tiempo. Este periodo puede ser desde 15 segundos hasta una hora. Cuando hablamos de operaciones de no precisión recurrimos al período de una hora mientras que en aquellas operaciones donde aparezca un componente de criticidad, usaremos el de 15 segundos (todas las operaciones de precisión, como las de LPV-200).

Podemos encontrar a su vez diferentes fallos que afectan a la continuidad de un Sistema de Navegación:

- Fallos Graves.  
Son conocidos así los fallos por los que un satélite deja de emitir la señal GNSS. Se puede producir de manera inmediata o gradual. Los fallos graves también presentan una subdivisión en dos tipos diferentes:
  - **Fallos de Largo Plazo.** Fallos que resultan en una pérdida irrecuperable de la señal del satélite. Su solución pasa por lanzar un nuevo satélite para reemplazar al anterior.
  - **Fallos de Corto Plazo.** Suponen una pérdida temporal de la señal de un satélite. Para solucionarlo se recurre a un cambio en la configuración del satélite a un sistema redundante, pasando la emisión de la señal a otro diferente.
- Fallos por Desgaste.  
Estos fallos se diferencian de los anteriores en que son predecibles. Los fallos por desgaste son una característica de los satélites en fase de servicio “End-Of-Life” (EOL). Por ello, no son fallos que ocurran a satélites de recién lanzamiento o de edad media. Son fallos de Larga Plazo.
- Fallos Leves.  
Son los fallos en integridad, fallos en los que el sistema sigue funcionando sin haber emitido la alerta de fallo por integridad. Es el Segmento de Control

quien avisa de este tipo de fallos tan pronto como es posible tras acontecer dicho fallo.

La continuidad es el requerimiento donde peores resultados se observan de EGNOS, no cumpliendo los mínimos establecidos por la OACI para las operaciones de precisión LPV-200. Esta misma entidad, la OACI, permite el uso de sistemas que no cumplan la continuidad siempre y cuando haya un plan de acción para compensar la falta de cumplimiento de los requerimientos.

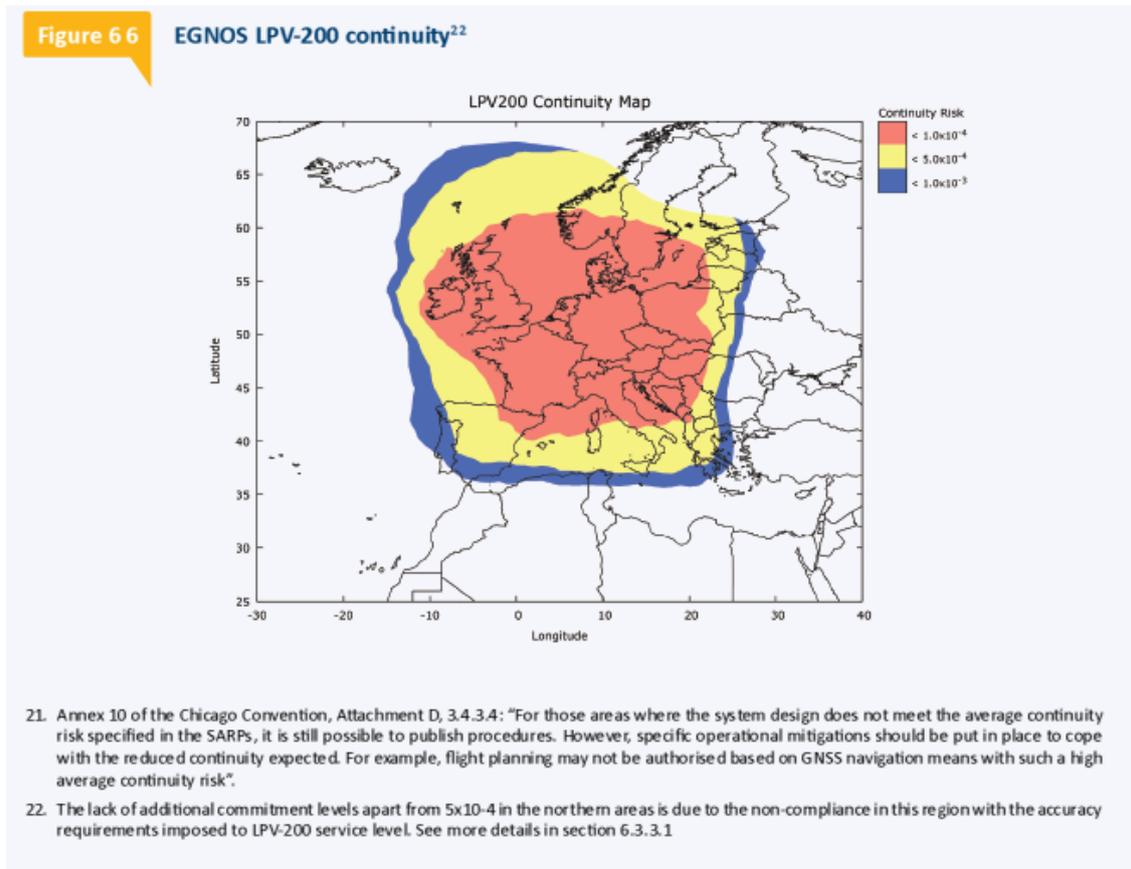


Figura 4.5: Extracto de los datos de Continuidad para LPV-200 del SoL Documento de Definición.

# 5. SBAS

Debido a que los sistemas actuales de posicionamiento por satélite global (véase GPS, GLONASS) no están diseñados para cumplir con las especificaciones de la aviación comercial (principalmente la integridad en tiempo real) indicadas por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), se implementaron los diferentes sistemas de aumentación.

A su vez, EGNOS (el sistema SBAS europeo) surge como una medida para aumentar la independencia europea de los sistemas GPS y GLONASS. Juntamente con Galileo, significa el principio de la navegación por satélite en la región europea.

## 5.1. Fundamentos matemáticos

Para establecer los fundamentos matemáticos del SBAS, partiremos de la ecuación de la pseudodistancia de código en una base A y para un satélite dado j, todo ello proveniente de la base de GPS diferencial:

$$R_A^j(t_0) = \rho_A^j(t_0) + \Delta\rho_A^j(t_0) - c\delta^j(t) + c\delta_A(t_0)$$

Donde R es la pseudodistancia,  $\rho$  es la distancia geométrica que existe entre el satélite y la estación receptora,  $\Delta\rho$  es el error radial de la órbita y de refracción ionosférica y troposférica y por último  $\delta$  es el error de los relojes.

Establecemos ahora la corrección de la pseudodistancia para un satélite j en la época de referencia  $t_0$ :

$$PRC^j(t_0) = -R_A^j(t_0) + \rho_A^j(t_0) = -\Delta\rho_A^j(t_0) + c\delta^j(t) - c\delta_A(t_0)$$

Con el uso de una derivación numérica, podemos calcular la corrección de variaciones de distancia RRC con el uso de una serie temporal de datos de correcciones de pseudodistancias. Utilizando esto, podemos aproximar la corrección de pseudodistancias de código para cualquier época t:

$$PRC^j(t) = PRC^j(t_0) + RRC^j(t_0)(t - t_0)$$

Y procediendo de manera análoga para otra base, a la que llamaremos B:

$$R_B^j(t_0) = \rho_B^j(t_0) + \Delta\rho_B^j(t_0) - c\delta^j(t) + c\delta_B(t_0)$$

Con lo que aplicando corrección de pseudodistancias obtenemos:

$$R_B^j(t)_{corr} = R_B^j(t) + PRC^j(t) = \rho_B^j(t) + (\Delta\rho_B^j(t) - \Delta\rho_A^j(t)) + (c\delta_B(t) - c\delta_A(t))$$

Ecuación de la cual podemos ver que desaparecen dos términos: por un lado, los errores de los satélites se anulan mientras que podemos también despreciar los errores radiales de las órbitas. Obtenemos entonces:

$$R_B^j(t)_{corr} = \rho_B^j(t) + c\Delta\delta_{AB}(t)$$

Donde se tiene que  $\Delta\delta_{AB}(t) = \delta_B(t) - \delta_A(t)$

Obtenemos por lo tanto una medida del error combinado de los relojes de los receptores. En ella, tanto los efectos por desplazamiento de reloj de satélites, como la degradación en órbita y los errores ionosféricos y troposféricos se han eliminado casi en su totalidad.

## 5.2. SBAS europeo – EGNOS

EGNOS (cuyo nombre proviene de European Geostationary Navigation Overlay Service), se concibió como la medida mediante la cual se mejorarían las prestaciones de GPS y GLONASS, un sistema de aumentación europeo que restase dependencia del GPS.

Este proyecto fue aprobado a finales de 1994, viendo concluida su fase de definición en 1998 y declarándose como válido para el uso en el año 2011, mediante el servicio de Safety-of-Life. El proyecto EGNOS ha sido impulsado por 3 entidades: la Unión Europea, EUROCONTROL y la Agencia Espacial Europea.

Al igual que pasa con el resto de sistemas de aumentación por satélite, EGNOS divide su estructura en 3 grandes segmentos, aportando pequeñas particularidades a estos, como se puede ver en la Figura 5.1.

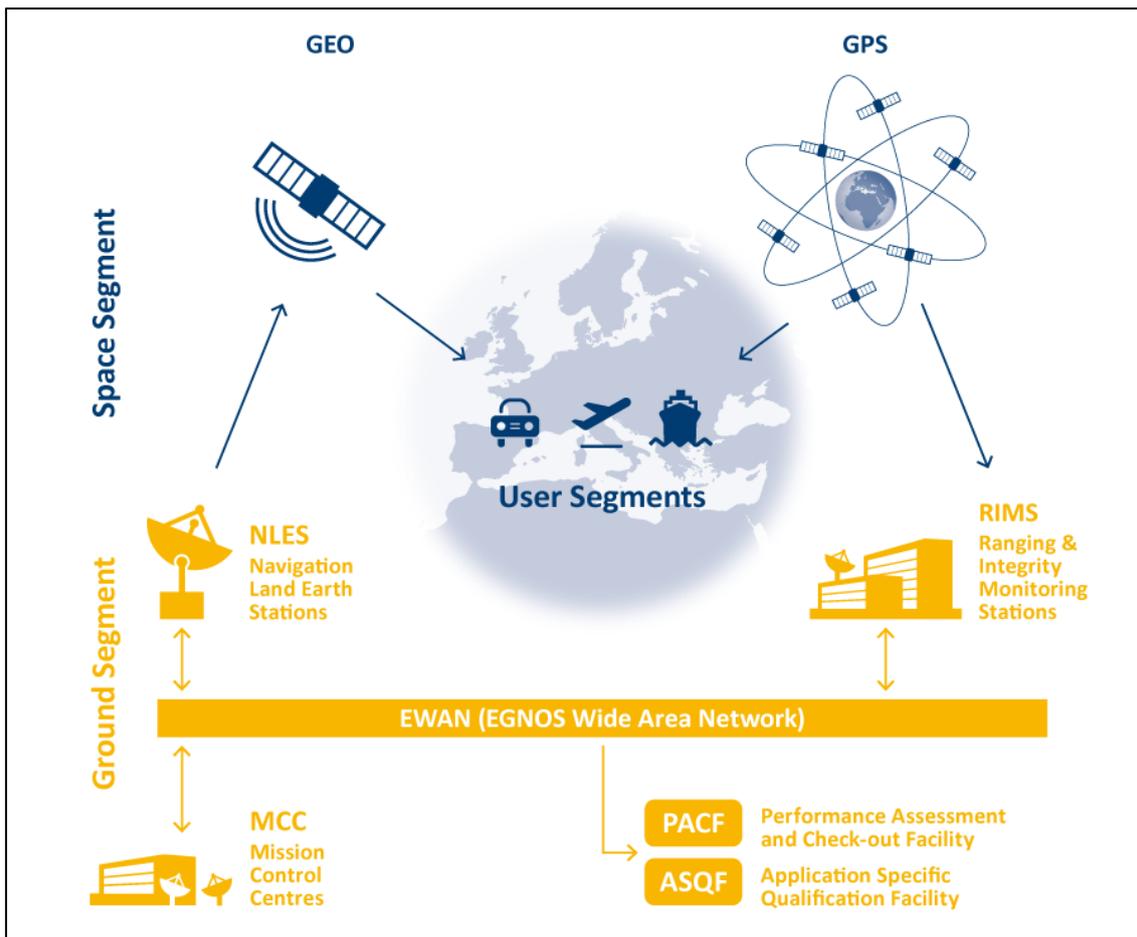


Figura 5.1: Tres grandes divisiones en la estructura de EGNOS.

### 5.2.1. Segmento Terrestre

El segmento terrestre de EGNOS es el más complejo de los que forman este sistema. Es el encargado de realizar las computaciones necesarias para las correcciones diferenciales y para establecer los límites de integridad. Esta información se envía posteriormente a los satélites (segmento espacial) y estos lo hacen llegar a los usuarios.

El presente segmento se compone de una red de estaciones, entre las que encontramos las RIMS (Ranging Integrity Monitoring Stations), 4 MCCs (Mission Control Centres), 6 NLES (Navigation Land Earth Stations) y el EGNOS Wide Area Network (EWAN). De forma adicional encontramos las PACF y ASQF (Performance Assessment and Checkout Facility y Application Specific Qualification Facility).



- **PACF/ASQF.** Estaciones preparadas para realizar mantenimiento y facilitar las actividades de verificación de toda la red EGNOS. Se encuentran en Madrid y Toulouse.

## 5.2.2. Segmento Espacial

En este caso hablaremos de los satélites que componen EGNOS. Se trata de 3 satélites geostacionarios, que dan cobertura total en la región europea como puede verse en la Figura 5.3. Estos satélites tienen la misión de transmitir las correcciones calculadas en el Segmento Terrestre a los usuarios. Se pueden identificar atendiendo al PRN (Ruido Psudo-Aleatorio) característica única de cada satélite.

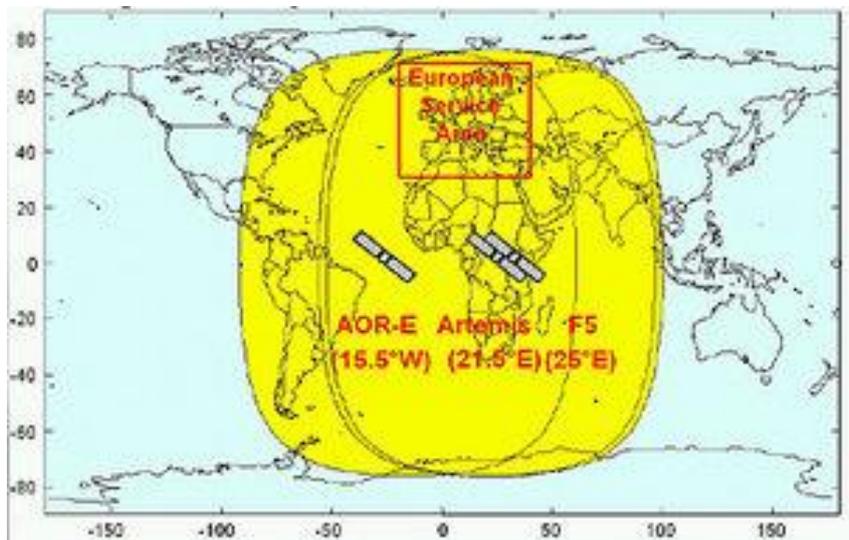


Figura 5.3: Satélites EGNOS y su cobertura conjunta.

La posición de estos tres satélites es estratégica, pues maximiza la disponibilidad del sistema, minimiza que la señal pueda verse bloqueada y crea redundancia al tener, mínimo, dos satélites en vista cuando con uno se puede realizar el proceso. Los tres satélites son:

- Inmarsat-3 AOR-E (Atlantic Ocean Region East). De PRN 120 y completamente operativo desde 1996.
- Inmarsat-3 IOR-W (Indian Ocean Region West). De PRN 126 y operativo desde 1998.
- ESA-Artemis. De PRN 124 está en fase de retirada, será sustituido por Astra Sirius.

### 5.2.3. Segmento Usuario

Este último segmento está compuesto por todo aquel usuario que tenga un receptor EGNOS, pudiendo de esta manera obtener de forma precisa su posición. Entre las muchas aplicaciones a las que los usuarios de EGNOS pueden acceder, tenemos SISNeT (una forma de unir la información EGNOS e Internet) y EDAS (del inglés EGNOS Data Access Service).

Son varios los errores que pueden afectar la precisión de las medidas de posición de los usuarios. Podemos destacar los siguientes:

- Error en la posición de los satélites. Producido por una mala medida de las estaciones terrestres de la posición de los satélites.
- Errores atmosféricos. Tanto ionosféricos (error de propagación de la señal) como troposféricos (debido a las condiciones climatológicas).
- Errores en los relojes de los satélites. Debido a la sincronización.
- Señal distorsionada. Sea cual sea el efecto que modifique la señal, el resultado será un error considerable.

### 5.2.4. Mensajes EGNOS

Los mensajes enviados por EGNOS contienen un total de 500bits, de los cuales 250 son de información (esta viene codificada con una convolución). Del mensaje podemos diferenciar 4 partes, cada una de diferente longitud. En la Figura 5.4 tenemos la distribución y orden:

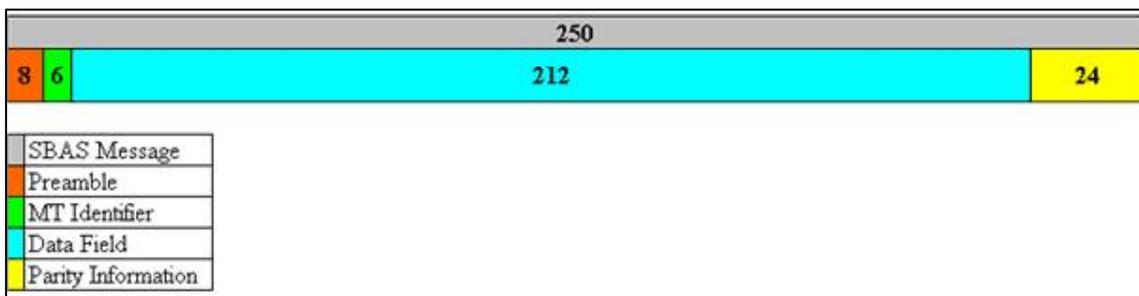


Figura 5.4: Distribución y orden de los parámetros de un mensaje EGNOS.

- Preámbulo. Compuesto de 8 bits, forma una palabra que da lugar a la sincronización entre emisor y receptor.
- Identificador del Tipo de mensaje. Campo de 6 bits, con el que pueden formar hasta 64 mensajes diferentes. Estos mensajes estructuran el resto de la

información incluida en el campo Data. Pese a la posibilidad de tener 64 mensajes, sólo 20 tipos son utilizados.

- Campo de Información. Es la parte donde se incluyen las correcciones y la información de integridad. Tiene un máximo de 212 bits.
- Información de paridad. Se reservan los últimos 24 bits del mensaje para prevenir posibles errores aleatorios.

Tipo	Contenido	Propósito
0	No usar para aplicaciones de seguridad	Descartar cualquier información de variación, corrección e integridad de una señal PRN. También usado durante el testeo del sistema
1	Asignación de máscara PRN	Indica los huecos para la información de GPS y GEO
2-5	Correcciones Rápidas	Correcciones de distancia y precisión
6	Información de Integridad	Información relacionada con la precisión para todos los satélites en un solo mensaje.
7	Factor de Degradación de correcciones rápidas	Información sobre la degradación de las correcciones de corto plazo
9	Mensaje de Navegación GEO (X,Y,Z, tiempo, etc.)	Información de las órbitas de los satélites EGNOS (Efemérides)
10	Parámetros de degradación	Información sobre la corrección de la degradación de mensajes perdidos.
12	Tiempo de la red SBAS/ Parámetros de compensación UTC	Parámetros para la sincronización de la Red SBAS con tiempo en UTC
17	Almanaques de satélites GEO	Almanaques GEO
18	Máscaras de los puntos de rejilla ionosférica	Indica para que punto geográfico se provee las correcciones ionosféricas.

24	Correcciones mixtas rápidas/Correcciones de largo periodo de errores de satélites	Corrección de corto plazo de hasta 6 satélites y error de largo plazo para un satélite en un solo mensaje
25	Correcciones de largo periodo de errores de satélites	Correcciones para las efemérides de los satélites y error del reloj de hasta dos satélites
26	Correcciones del retardo ionosférico	Retrasos verticales/Enlaces de precisión para un punto geográfico dado
27	Mensaje del servicio SBAS	Define la región geográfica de servicio.
28	Mensaje con la matriz de covarianza de la Efemérides del Reloj	Provee con la matriz de covarianza relativa al error de reloj y efemérides.
63	Mensaje Nulo	Rellena el mensaje si ningún otro mensaje está disponible.

Figura 5.5: Tipos y contenido de los mensajes EGNOS.

### 5.2.5. Servicios EGNOS

EGNOS ofrece 3 servicios fundamentales, con cobertura en toda Europa y haciendo uso de la señal de GPS:

- Open Service (OS): El servicio público y de acceso gratuito que lleva activo desde 2009 y es compatible con cualquier receptor capaz de captar señal SBAS/GPS. Este servicio busca mejorar uno de los parámetros del posicionamiento, en particular la precisión, a través de las correcciones de los diferentes errores que puedan afectar a la señal GPS. Los errores que EGNOS corrige son los relacionados con los relojes de los satélites, la posición de los mismos y posibles errores creados por la ionosfera.
- Safety of Life (SoL): Es el servicio que aporta el mayor grado de precisión de EGNOS, en concreto llegando a precisión LPV (del inglés Localizer Performance with Vertical Guidance). Activo desde 2011, es base de gran cantidad de aplicaciones de transporte, haciendo muchas de las operaciones más seguras. A parte, es capaz de avisar en un margen de 6 segundos de un mal funcionamiento en la señal, aportando una integridad notoria. Por todo

ello no sólo se usa en aviación, si no que se está extendiendo a otros sectores como el agrícola o marítimo.

- EGNOS Data Access Service (EDAS). Este último servicio fue el que más tarde vio la luz, siendo su año el 2012. Es el servicio destinado a usos profesionales o comerciales, sólo usuarios autorizados tienen acceso a él. El servicio EDAS almacena toda la información generada por EGNOS (en las RIMS y NLES) al igual que facilita acceso a esta información en tiempo real.

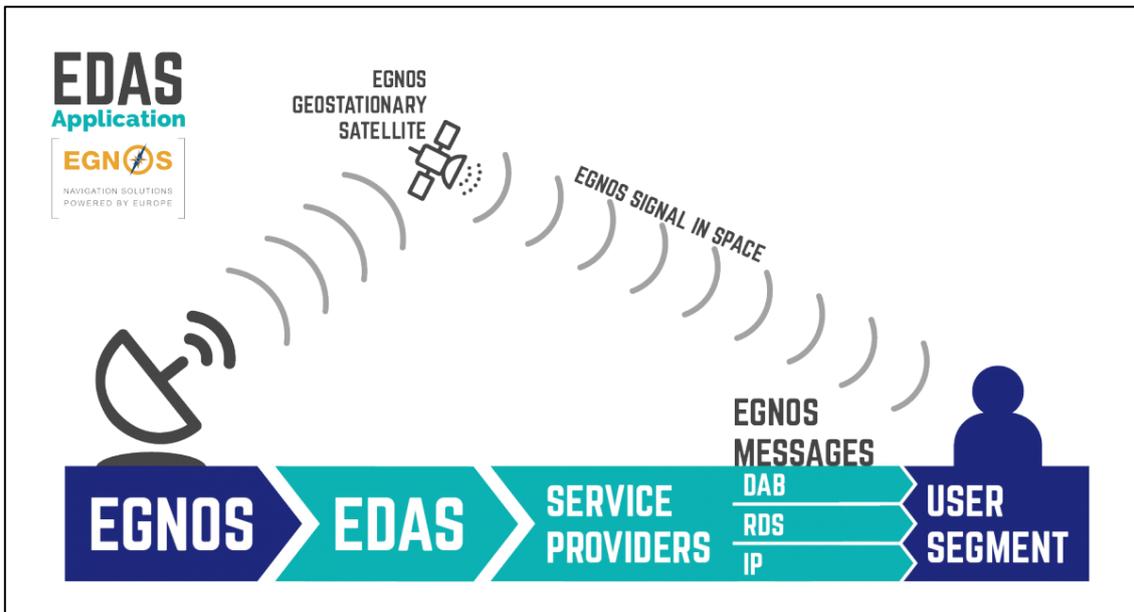


Figura 5.6: Esquema funcionamiento y estructura EDAS.

### 5.3. Otros sistemas SBAS

Hasta ahora nos hemos centrado en describir el SBAS europeo y base del presente trabajo, pero a continuación se van a introducir los otros SBAS que podemos encontrar.

Empezando por el SBAS americano, tenemos el WASS (del inglés Wide Area Augmentation System), sistema creado para la comunidad de la aviación civil. Se declaró operativo en 2003. Hablamos del SBAS que se usa como referencia para todos los demás dados sus objetivos de mejora de las diferentes prestaciones de vuelo.

Otro SBAS conocido es el MSAS (del inglés Multi-functional Satellite Augmentation System) que en este caso es propio de Japón, utilizando los propios satélites de QZSS para computar las correcciones. Se puso en marcha en 2007 y permite interoperabilidad con el resto de los SBAS.

Por último, se puede destacar el sistema GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation), SBAS de la India con 3 satélites geoestacionarios y también interoperabilidad con el resto de SBAS.

# 6. PBN

En este apartado se abordará el término PBN, su definición y relación con los Sistemas de Navegación global por satélite. Para ello, se definirá PBN, RNAV, RNP y otros términos y requisitos que engloban la imagen general de PBN.

## 6.1. Concepto

El término PBN (del inglés Performance-Based Navigation) se utiliza para referirse a la navegación que emplean los sistemas GNSS y otros sistemas informáticos embarcados. Esto supone la primera diferencia con los sistemas tradicionales, basados en una navegación de sensores fijos terrestres, los cuales se guían a través de puntos de ruta (waypoints) definidos por las balizas.

El concepto PBN especifica una definición en función de los parámetros de precisión, integridad, disponibilidad y continuidad para los requerimientos de actuación de los sistemas RNAV de las aeronaves, que son los necesarios para cumplir los conceptos de espacio aéreo en este determinado contexto. Los requerimientos de actuación están incluidos en las especificaciones de navegación, indicando qué sensores se han de elegir en cada caso y el equipamiento apropiado para cumplirlas. El grado de detalle en la descripción de estos parámetros es suficiente como para guiar la implementación de forma global y coordinada.

PBN describe cual es la tecnología que permite vuelos en 3D, flexibles y precisos a partir de instrumentos embarcados. De esta manera, se elimina la dependencia en sensores y balizas terrestres, dando lugar a beneficios diversos como medioambiental, económico, operacional y de seguridad.

Las mencionadas especificaciones para la navegación se pueden definir como la unión de todos aquellos requisitos que guarden relación a la nave y la tripulación de la misma. Esta especificación marcará los valores de rendimiento para RNAV o RNP. Existen dos tipos de especificación diferente.

- RNAV (del inglés Area NAVigation). Es un sistema en el cual los instrumentos de abordaje calculan una trayectoria entre dos puntos, siguiendo una navegación directa entre ambos, evitando así que la aeronave deba sobrevolar balizas intermedias. Tanto la vigilancia como la alerta de rendimiento a bordo no se incluyen en esta especificación. Para designarlo, se usa RNAV seguido de la precisión en el guiado horizontal en NM, esperándose este valor al

menos durante el 95% del tiempo. Podemos encontrar RNAV desde 2D (guiado horizontal), pasando por 3D (incluye vertical) hasta 4D, donde incluimos también el tiempo.

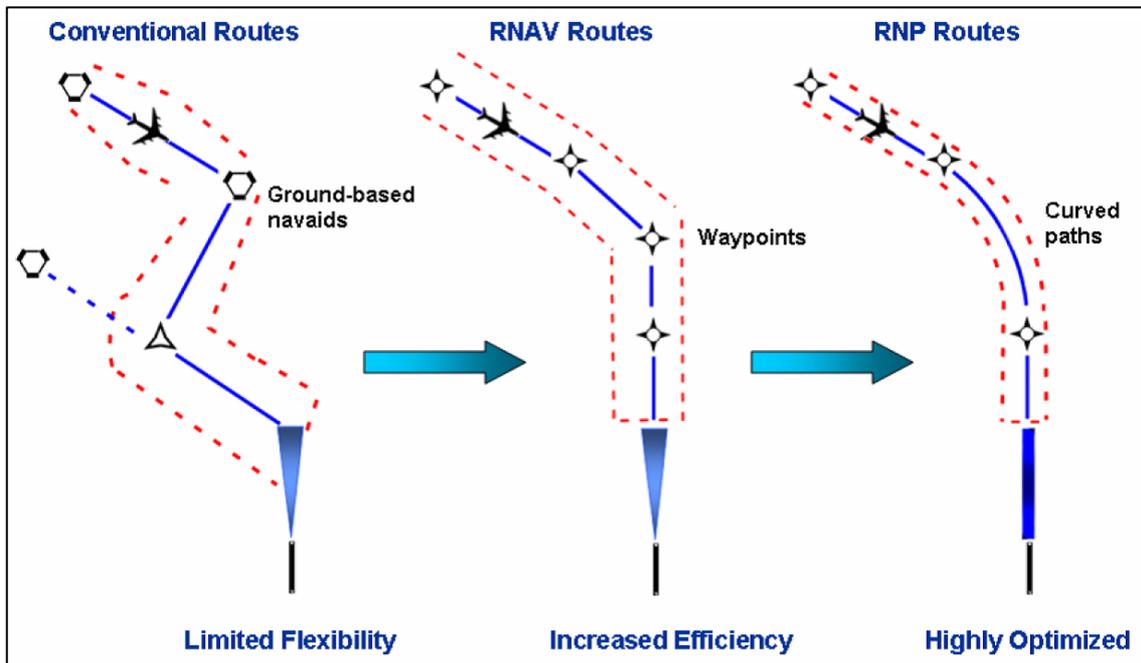


Figura 6.1: Tipos de especificación RNAV.

- RNP (del inglés Required Navigation Performance). Esta especificación es mucho más compleja que la anterior, permitiendo a la aeronave volar entre dos puntos definidos en el espacio en 3D. Los sistemas son altamente parecidos, pero debido a la mayor complejidad de este se requiere incluir vigilancia y alerta de rendimiento a bordo. La forma de hacer referencia a él se mantiene (número con NM, 95% tiempo de guiado horizontal...) pero el prefijo a usar en este caso será RNP.

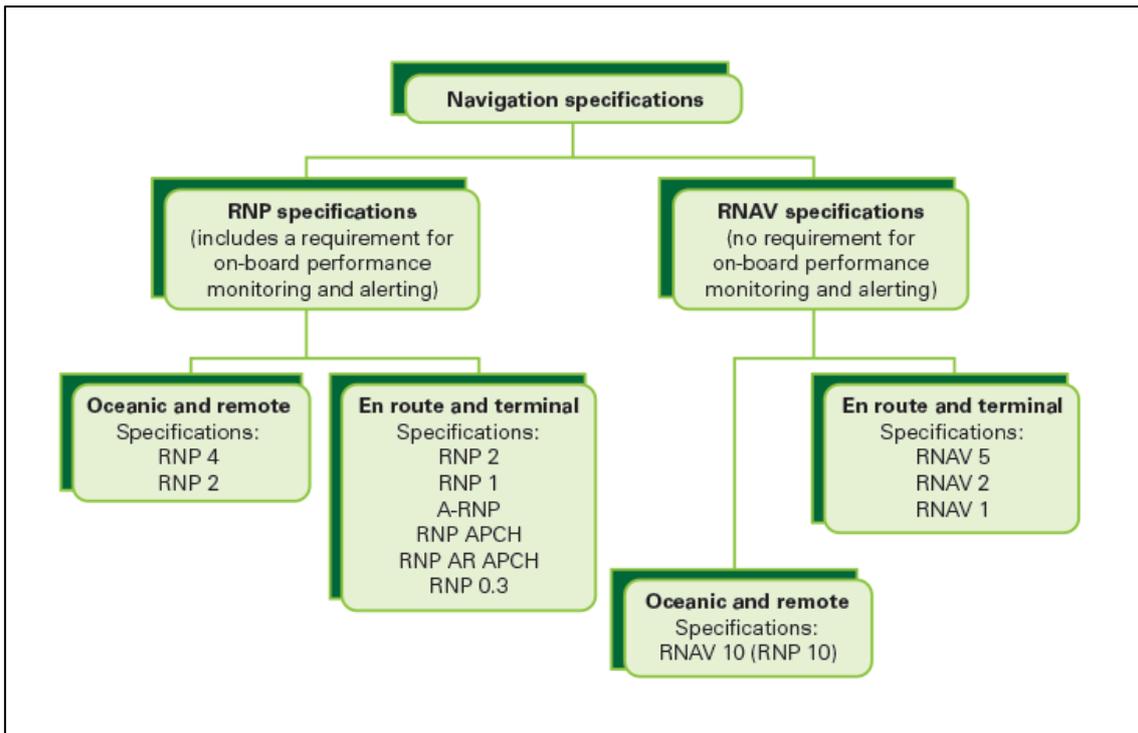


Figura 6.2: Clasificación de especificaciones RNP y RNAV en las fases de vuelo.

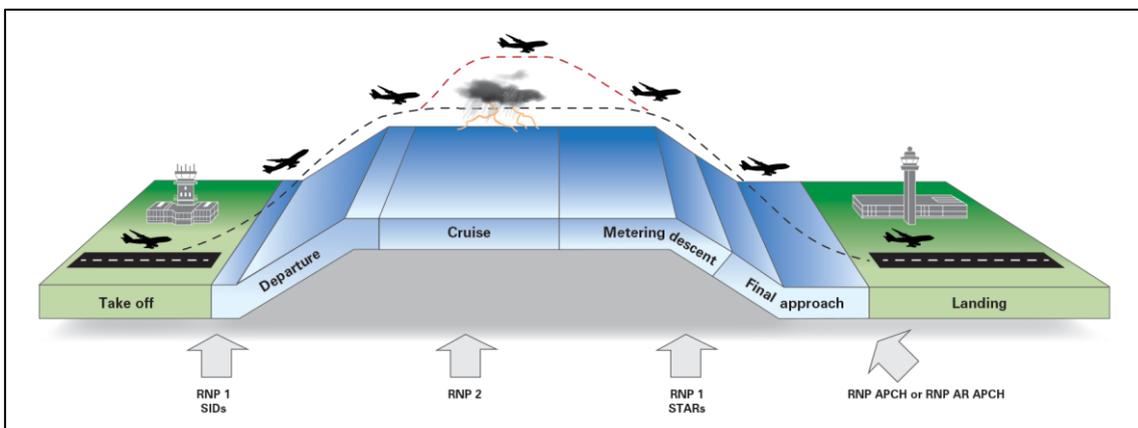


Figura 6.3: Fases de vuelo y especificaciones típicas RNP.

En cuanto a la terminología, ha de destacarse que el concepto PBN sustituyó al concepto RNP en 2004. Este último aporta diversidad de beneficios y mejoras asociadas al uso del espacio aéreo y franqueamiento de obstáculos, entre los que ver:

- Establece las pautas y diferencias entre los usos de RNAV y RNP.

- Permite utilizar el espacio aéreo de una manera más eficiente (como se hace el trazado de rutas, ahorro de combustible, menor impacto acústico).
- Reduce la necesidad de ser dependientes de sensores específicos para rutas y procedimientos, a parte de los costes derivados de los mismos.
- Consigue evitar que haya que desarrollar nuevas operaciones con sensores determinados a cada nueva evolución que se produce en los Sistemas de Navegación, lo cual crea costes muy elevados.
- Hace más fácil todo el proceso de aprobación operacional para los operadores pues provee con un conjunto limitado de especificaciones de navegación, de carácter global.

## 6.2. Operaciones

Poco después de instaurar el Sistema PBN, en 2007 se aprobó que todos aquellos estados miembros de la OACI publicaran un plan de implementación de PBN en el que se contuviesen, entre otras, las fases de ruta, aproximación y terminal, acompañado esto de una publicación para cada pista instrumental donde se tratase el APV (del inglés Approach with Vertical Guidance) para 2016.

Posteriormente, en el año 2010, se estableció como debía de avanzar la implementación de los sistemas APV en las pistas instrumentales, siendo del 30% en el mismo año, de un 70% en 2014 y del 100% en 2016 como establecido en un origen. Esto no pudo ser posible y hoy aún se trabaja para terminar dicha implementación.

Durante este proceso se definieron las diferentes especificaciones PBN, con dependencia de la fase de vuelo en la que nos hallemos. Para la fase En-Ruta se ubicó los RNAV5&10 y RNP4, para la fase de Terminal hay RNAV1&2 o B-RNP1, con designación de procedimiento en los SID, STAR e INA. Para la fase restante sólo se usará RNP y es la fase de Aproximación. Se denomina RNP APCH y sirve tanto para aproximaciones convencionales como APV, partiendo del uso de los sistemas GNSS y con una designación mínima de LNAV (clásico, uso de NPA/ GPS), LNAV/VNAV (con APV Barométrico) y LPV (APV SBAS como el de este trabajo). Existe una particularidad para las aproximaciones con autorización requerida y es el uso del RNP AR APCH.

Igualmente hay diferencias en el guiado vertical en todas estas especificaciones. Si se está usando el guiado por GPS y ABAS la toma de decisión para hacer un aterrizaje frustrado o aterrizar definitivamente se haya a 2NM de distancia y una altura de 400-600 ft. Para los sistemas de GPS Inercial y SBAS la distancia se reduce a 1NM y 350-400ft de altura. En caso de SBAS, se trata de 0.75NM y 250-300 ft, si combina con GBAS mantiene 0.75NM pero la altura desciende a 200ft. Focalizando en el sistema utilizado en el

presente trabajo, se trata de un sistema LPV, por lo que la altura de decisión se ubicará alrededor de los 200ft.

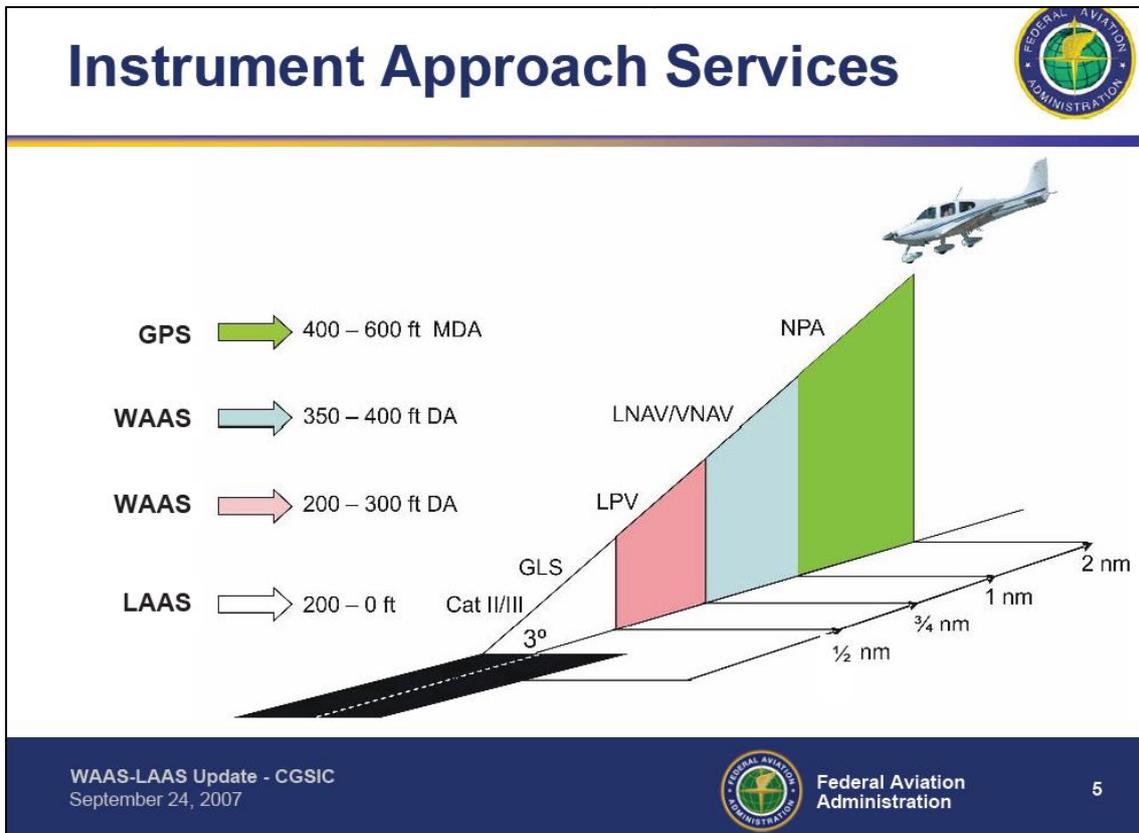


Figura 6.4: Altitudes de decisión para un sistema WAAS.

En la Figura 6.4, tenemos las diferentes alturas de decisión para tener en cuenta mientras se utiliza el sistema WAAS, que son análogas al caso en que estuviésemos utilizando el sistema SBAS/GBAS.

### 6.3. PBN y GNSS

Como se ha podido entrever en las explicaciones anteriores, el vínculo que une a PBN y GNSS es fundamental para poder comprender como la navegación por satélite ayuda en la implementación de un sistema basado en prestaciones como PBN.

Desde la implementación de los sistemas GNSS, el espacio aéreo ha visto alterada su estructura, cambiando así la definición que podemos hacer del mismo. De ello se ha nutrido la implementación de PBN, utilizando todos los sistemas a excepción del GBAS, el cual tiene una dependencia de su infraestructura terrestre, no dando el alcance requerido en los requisitos PBN.

Por lo citado anteriormente, vemos como GNSS puede utilizarse en todas las fases incluidas en las operaciones PBN. Empezando por la fase de En-Ruta, presenta muchos avances en lo referente a la separación entre naves, haciéndolo particularmente práctico al sobrevolar zonas oceánicas, donde no puede haber balizas terrestres.

En cuanto a la fase de Terminal, donde la precisión requerida suele situarse entre RNAV 1 y 2, se puede utilizar igualmente un sistema DME-DME o GNSS, con la diferencia que el primero requeriría una gran cobertura mientras que el segundo presenta una disponibilidad del 100% para estos casos. Se puede llegar a ver el uso de B-RNP (del inglés Basic RNP), sistema igualmente basado en GNSS como sistema primario para la navegación. Finalmente, la fase de aproximación emplea tanto los sistemas ABAS como los SBAS en función del guiado que se vaya a utilizar, de acuerdo a la siguiente imagen.

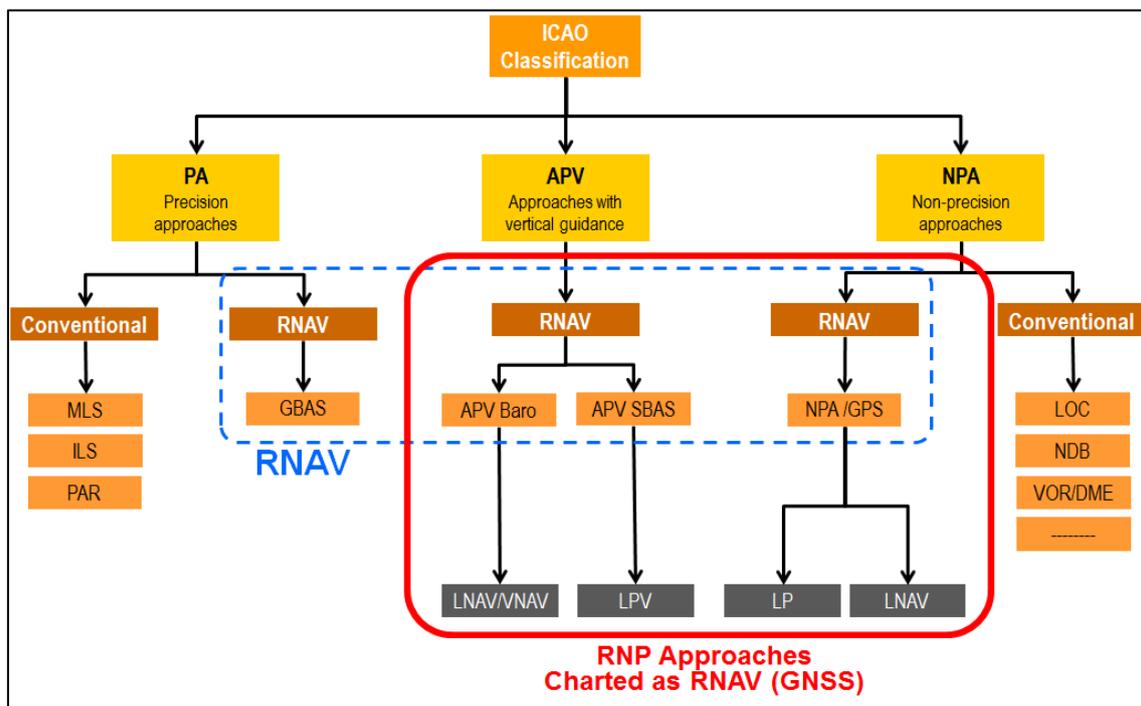


Figura 6.5: Tipos de especificaciones PBN en Aproximación.

En vistas a todo esto, se puede asegurar que GNSS es parte del eje de la implementación PBN, haciendo que según evolucione y mejore la tecnología, lo haga el propio sistema PBN. Este camino se abre de diferentes maneras, y entre otros podemos ver como se incorporarán segmentos curvos para operaciones diferentes a las de aproximación, creación de la especificación RNP 3.0 para rutas de menor altura, como por ejemplo la de las naves de ala rotatoria, otra nueva especificación A-RNP (del inglés Advanced RNP) que es una especificación donde la precisión es variable, pudiendo dar cabida así a todas las diferentes fases de un vuelo con una misma especificación.

A su vez, PBN ha de mantener una evolución propia, en materia de entrenamiento ATC y tripulación, equipamiento y estándares. Todo esto se realiza con la ayuda de la OACI, quien provee con guías y manuales, tanto de manera nacional como internacional.

# 7. SESAR

## 7.1. Definición

SESAR es el nombre que recibe el proyecto lanzado en 2004 bajo el nombre “The Single European Sky ATM Research” y que se constituye como el pilar tecnológico del Cielo Único Europeo (o en inglés Single European Sky, SES). Engloba a la comunidad de transporte aéreo europea y su objetivo es definir, desarrollar e implementar una red ATM en Europa de altas prestaciones, mejorando la actuación ATM y construyendo un sistema de transporte aéreo inteligente.

El proyecto se inició al percibir la necesidad de una visión común e integrada en lo referente al desarrollo y mejora del tráfico aéreo, implantando nuevos procedimientos que ayuden a manejar la demanda que se prevé para los próximos años.

El proyecto está compuesto por tres fases, que son:

## 7.2. Fases

### 7.2.1. Definición

Esta fase se inició en 2004 como parte de la iniciativa SES (del inglés Single European Sky) pero no fue hasta julio de 2006 que se obtuvo el primer aprobado en alguno de los proyectos de la fase. Su finalización tuvo lugar en 2008, arrancando así la Fase de Desarrollo, la cual se ve a continuación.

El objetivo principal de la Fase de Definición era la elaboración de un Plan Maestro ATM, en el que se abordarían temas como el contenido, desarrollo y línea de acción en el despliegue de la próxima generación ATM. Esta fue dirigida por EUROCONTROL y contaba con el apoyo económico de la Comisión Europea.

El desarrollo del documento fue obra del consorcio conocido como SESAR Consortium. Este lo formaban entidades de diferentes ámbitos del sector del transporte aéreo, gente que a su vez eran mayoritariamente miembros de organizaciones europeas. Esto no implica su exclusividad, pues el consorcio se abrió a otras organizaciones no europeas.

Este Plan se erige como representación de la estrategia general que se incluye en la fase de despliegue con el conocido Horizonte 2020+. Su objetivo es la renovación en la forma que se realiza la gestión del tráfico aéreo en Europa.

El SESAR Consortium (establecido como tal en 2008) forma parte de SESAR JU (Joint Undertaking). Esta establece como objetivo asegurar la modernización de la gestión del espacio aéreo europeo, coordinando el desarrollo de las actividades del Proyecto SESAR de acuerdo con el Master Plan.

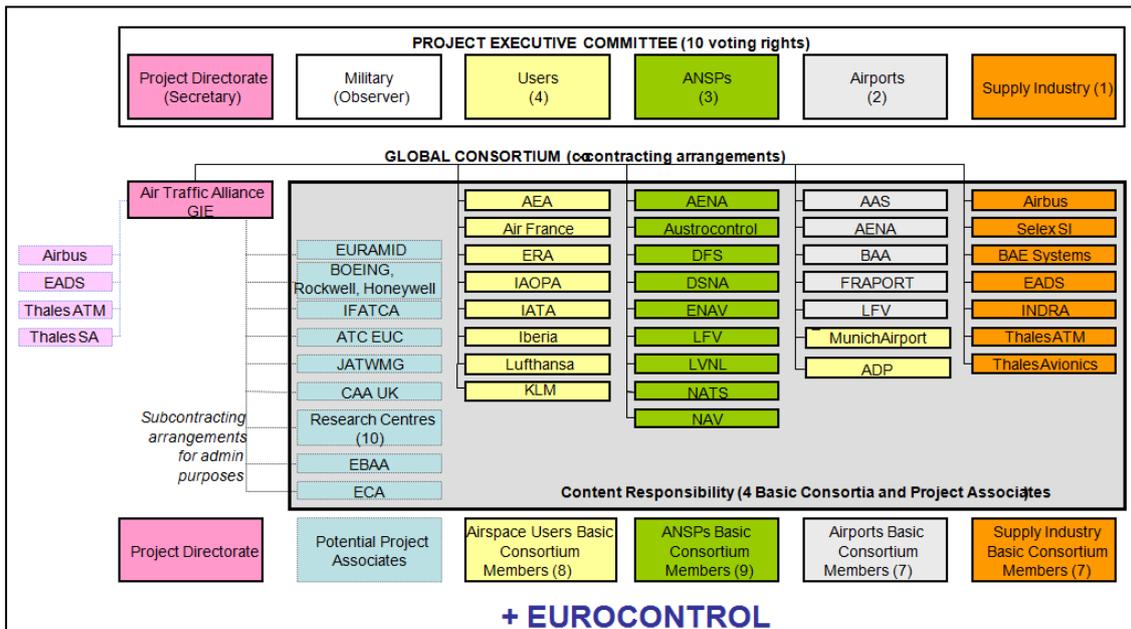


Figura 7.1: Entidades implicadas en el SESAR Consortium.

Los objetivos de esta Fase de Definición son:

- Definir los requerimientos de actuación para los sistemas de transporte aéreo europeo para 2020 y en adelante.
- Buscar e identificar soluciones para los ATM que sean globalmente interoperables y armonizadas.
- Establecimiento de un plan con alto grado de detalle y diferentes subfases para la implementación y despliegue de la tecnología.
- Producir un programa detallado de R&D (Research and Development) que abarca la investigación y desarrollo de Tecnología y trabajo de validación.
- Proponer un marco legislativo, financiero y regulatorio para todo el proyecto.

## 7.2.2. Desarrollo

La segunda fase se conoce como fase de desarrollo y está gestionada por SESAR JU, colaboración a nivel europeo definida en la primera fase. En esta fase se producen las nuevas tecnologías, componentes y procedimientos operacionales definidos en el Plan Maestro.

La idea general del cambio en el funcionamiento del ATM es una mejora de la arquitectura ATM, que cambiaría gradualmente desde una específica para cada país a una más flexible e interoperable, en definitiva, una arquitectura común proveedora de servicios. Esto se define en 4 fases que se van superponiendo entre ellas en el desarrollo, contemplando los siguientes aspectos:

- Mejora y estandarización en el intercambio de información: dedicada al desarrollo de soluciones para aumentar y mejorar el intercambio de información entre las distintas entidades del ATM (aerolíneas, aeropuertos, etc.).
- Optimización de servicios del ATM: transición desde las actuales infraestructuras físicas a unas virtuales, caracterizadas por la automatización y digitalización del manejo de información.
- Implementación de TBO (del inglés Trajectory Based Operation) y posibilidad de provisión transfronteriza de servicios: la interoperabilidad de los sistemas permitiría operaciones basadas en trayectoria dentro del tráfico aéreo, que significa que los aviones podrían volar en las trayectorias deseadas sin ser restringidos por otros elementos del espacio aéreo. Así daría lugar al uso de las operaciones RNP.
- Aplicación a entornos complejos: finalmente, el desarrollo se centraría en las operaciones basadas en rendimiento. Las soluciones desarrolladas por SESAR se empezarán a aplicar así a entornos más complejos

## 7.2.3. Despliegue

La tercera y última fase del proyecto SESAR es la llamada fase de despliegue, que se inició aproximadamente en el año 2013. Su objetivo es cubrir el despliegue de las tecnologías y funcionalidades identificadas en el Plan Maestro ATM e investigadas en la fase de desarrollo, una vez éstas hayan alcanzado un nivel de avance e industrialización que permita su implementación y puesta en servicio.

En junio de 2014 se aprueba el primer proyecto común, llamado Proyecto Piloto Común (Pilot Common Project – PCP), en el que se determina la primera serie de funcionalidades ATM que deben comenzar a desplegarse para conseguir los cambios

operacionales de los que se ha hablado anteriormente, y que está previsto que termine su despliegue completo hacia el año 2024 aproximadamente. Dichas funcionalidades ATM pueden ser clasificadas en 6 grupos distintos:

- Gestión ampliada de llegadas y navegación basada en el rendimiento (PBN) en áreas terminales de control (TMAs) de alta densidad: su objetivo es mejorar las aproximaciones de precisión, así como facilitar una secuenciación más anticipada de las llegadas, con lo que se consigue un menor gasto de combustible y un menor impacto ambiental. Se puede dividir a su vez en dos subfuncionalidades:
  - Gestión de llegadas ampliada al espacio aéreo en ruta.
  - Espacio aéreo terminal mejorado utilizando operaciones con RNP.
- Integración y productividad de los aeropuertos: busca mejorar la seguridad y rendimiento de las pistas, permitiendo una mejora en los tiempos de retraso y gasto de combustible, así como en la capacidad de los aeropuertos. Se divide en:
  - Gestión de las salidas sincronizada con la secuenciación previa a la salida.
  - Gestión de las salidas con inclusión de las restricciones de gestión del movimiento en la superficie.
  - Espaciamiento en la aproximación final basado en el tiempo.
  - Asistencia automática al controlador para la planificación y el encaminamiento en desplazamientos de superficie.
  - Redes de seguridad aeroportuaria.
- Gestión flexible del espacio aéreo y ruta libre: usar de forma más eficiente el espacio aéreo, permitiendo mejoras obvias en consumo de combustible y tiempos de retraso:
  - Gestión del espacio aéreo y los sistemas avanzados de utilización flexible del espacio aéreo.
  - Rutas libres.
- Gestión colaborativa de la red: su objetivo es la calidad y velocidad de la información transmitida entre los agentes implicados en el ATM. Sus cuatro subfuncionalidades son:
  - Refuerzo de las medidas de gestión ATFCM (del inglés Air Traffic Flow and Capacity Management) a corto plazo.
  - NOP (del inglés Network Operations Plan) colaborativo.
  - Cálculo de la hora de despegue en relación a los horarios-objetivo a efectos de la gestión ATFCM.
  - Asistencia automatizada para el análisis de la complejidad del tránsito.

- Gestión inicial de la información en todo el sistema: busca el desarrollo de servicios destinados al intercambio de información que se basan en normas y se canalizan a través de una red fundamentada en el protocolo IP. Compuesta por:
  - Componentes de infraestructura comunes.
  - Intercambio de información aeronáutica.
  - Intercambio de información meteorológica.
  - Intercambio cooperativo de información de red.
  - Intercambio de información de vuelos.
- Intercambio de información sobre trayectorias iniciales: su objetivo es la mejora en el uso de trayectorias 4D y su intercambio entre las aeronaves y los servicios de tierra, con todos los beneficios que ello supone.

### 7.3. Next Gen & SESAR

Durante la fase de desarrollo de SESAR se debe tener en cuenta también el programa NextGen, de la FAA estadounidense. Ambos programas pretenden alcanzar la interoperabilidad global, pues tienen un enfoque muy similar en sus objetivos. Es cierto que estos programas no proponen los mismos cambios, pero se pretende que el funcionamiento general esté de alguna forma “armonizado”.

Teniendo en cuenta esta idea de uniformidad, se pretende desarrollar un proceso de modernización que asegure la cooperación global, mejor comunicación, operaciones continuas y una seguridad óptima. Por ello, en 2014 se publicó un documento por parte de SESAR y NextGen llamado “State of Harmonisation Document” en el que se resume el estado del proceso para alcanzar la armonización y el nivel necesario de interoperabilidad entre los programas.

# 8. Obtención y trabajo de datos

En este apartado vamos a realizar una introducción a los diferentes tipos de formatos y protocolos de comunicación empleados en los Sistemas de Navegación por satélite. El receptor GNSS considerado para el trabajo emplea los datos RINEX, por ello se va a realizar una explicación más detallada en el apartado correspondiente a estos datos.

Después se abordará cómo se obtienen y se manipulan los mencionados datos para las diferentes fases de la certificación, pensando en su uso posteriormente en el software PEGASUS.

## 8.1. Formatos Datos GNSS

### 8.1.1. RTCM y RTCA

El formato RTCM (del inglés Radio Technical Commission for Maritim Services), se define como un conjunto de recomendaciones que nos dicen como transmitir las correcciones diferenciales a los usuarios de GPS. Tras su estreno en 1985 se han ido añadiendo modificaciones sucesivas, partiendo de RTCM 2.0 y llegando hasta la RTCM 3.2. A su vez, se establece el formato que debe presentar para que cualquier receptor GPS comercializado pueda interpretar estos datos.

Este formato se concibió como un servicio para todo usuario del sector marítimo, es por ello que se creó otro particular para aviación: el formato RTCA (del inglés Radio Technical Commission for Aeronautic Services), que provee con correcciones locales y de tiempo real, con orientación aeronáutica. Lo más destacable de este formato es su alto nivel de complejidad en el procesamiento de mensajes, y que es el usado por EGNOS tras la publicación del documento RTCA/DO-229C.

### 8.1.2. NMEA

El formato NMEA (del inglés National Marine Electronics Association), es un estándar utilizado, como objetivo principal, en la interconectividad y transmisión de datos entre receptores GPS/GNSS y otros receptores. Se emplea para evitar las incompatibilidades (ritmo de datos o formato de mensajes) y permite la transmisión de datos como la posición, tiempo o velocidad.

Puede coger el aspecto de diferentes frases, pero estas nunca superarán los 80 caracteres y vendrán definidas por la primera palabra de dicha frase. Esta se compondrá del receptor (si recibimos por GPS, GLONASS o cualquier otro sistema) y el tipo de mensaje a transmitir. Un ejemplo de este formato es el siguiente:

*\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,\*47*

En el ejemplo anterior, lo primero que vemos es el identificador del mensaje, GGA, lo que nos indica que los datos son propios al sistema GPS. Los siguientes números indican la hora en UTC, latitud N y longitud E, el "1" que hay solo es una medida de la calidad (que en este caso indica calidad GPS – SPS), 08 indica el número de satélites que se están siguiendo, después la dilución horizontal de la posición, altitud en metros sobre el nivel del mar, altura del geoide sobre la elipsoide del WGS84, dos campos vacíos y un último valor para la comprobación de la información, comenzado siempre por \*.

### 8.1.3. NTRIP

El protocolo NTRIP, proveniente de Network Transport of RTCM vía Internet Protocol, es el protocolo empleado para la transmisión de datos GNSS a través de Internet. De esta manera, diferentes receptores pueden recibir datos de un mismo emisor en tiempo real. No tiene limitación, por lo que cualquier dato GNSS puede ser transmitido siguiendo este protocolo.

### 8.1.4. RINEX

El formato RINEX, que recibe su nombre de Receiver Independent Exchange Format, es un formato utilizado para el intercambio de información proveniente de satélites en bruto. Fue creado en los años 80 con el propósito de presentar e intercambiar, de una manera sencilla, los datos recibidos por diferentes receptores GPS.

Los datos vienen escritos en formato ASCII, haciendo así posible su lectura por cualquier software. Pese a que en sus inicios se preparó para sólo funcionar con datos de GPS, se ha ido modificando y mejorando, siendo capaz ahora de soportar los datos GLONASS e incluso del europeo Galileo, manteniendo la estructura para todos ellos.

Se pueden generar hasta tres tipos diferentes de ficheros, siendo de observación, navegación o meteorológicos. En ellos, cambiará la cabecera y la información generada dependiendo de quién sea el emisor del archivo. Para los de observación y meteorológicos, se producen en las estaciones terrestres tras conseguir las observaciones necesarias, apareciendo así la estación y la hora a la que se ha generado el archivo. Para

los de navegación, puesto que se realizan y transmiten desde los satélites, se mandan a las estaciones terrestres y la información ya no será la misma.

```

ALAC2130: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
  2.11      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
teqc 2017Jul3      20170905 18:01:16UTCPCGM / RUN BY / DATE
Linux2.6.32-573.12.1.el6.x86_64|x86_64|gcc|win64-MingW64|=+ COMMENT
teqc 2011Oct11      IGN-E      20170801 01:03:40UTCCOMMENT
Linux 2.4.21-27.ELsmp|Opteron|gcc -static|Linux x86_64|=+ COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION      COMMENT
ALAC      MARKER NAME
13433M001      MARKER NUMBER
Area de Geodesia      Instituto Geografico Nacional      OBSERVER / AGENCY
1831552      LEICA GR25      4.11/6.523      REC # / TYPE / VERS
10250007      LEIAR25.R3      LEIT      ANT # / TYPE
  5009051.3988      -42072.4717      3935057.5035      APPROX POSITION XYZ
    3.0350      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
      1      1      WAVELENGTH FACT L1/2
      8      L1      L2      L5      C1      C2      P2      S1      S2      # / TYPES OF OBSERV
      1.0000      INTERVAL
Forced Modulo Decimation to 1 seconds      COMMENT
DefaultJobName      COMMENT
DefaultUserDiscription      COMMENT
Project creator:      COMMENT
  SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9]      COMMENT
  L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9)      COMMENT
teqc edited: all Galileo satellites excluded      COMMENT
  15      LEAP SECONDS
  2017      8      1      0      0      0.0000000      GPS      TIME OF FIRST OBS
      END OF HEADER
  17      8      1      0      0      0.0000000      0      16G02G05G06G07G09G13G20G28G30R02R03R04
      R12R13R18R19
118237452.129      8      92133046.14746      22499833.880
22499827.260      48.900      41.250
109439460.423      8      85277473.335      7      20825626.960      20825623.220
20825622.380      51.300      47.900
129443814.152      7      100865313.521      6      96662608.174      7      24632333.060      24632333.320
24632332.240      44.150      40.100
115966299.136      8      90363348.748      7      22067640.920      22067636.860
22067636.300      51.450      45.750
126169759.025      8      98314127.805      7      94217719.554      8      24009295.040      24009293.800
24009293.320      48.200      42.850
118191842.084      8      92097545.67646      22491155.500

```

Figura 8.1: Archivo RINEX de Observación tras pasar por Hatanaka y teqc.

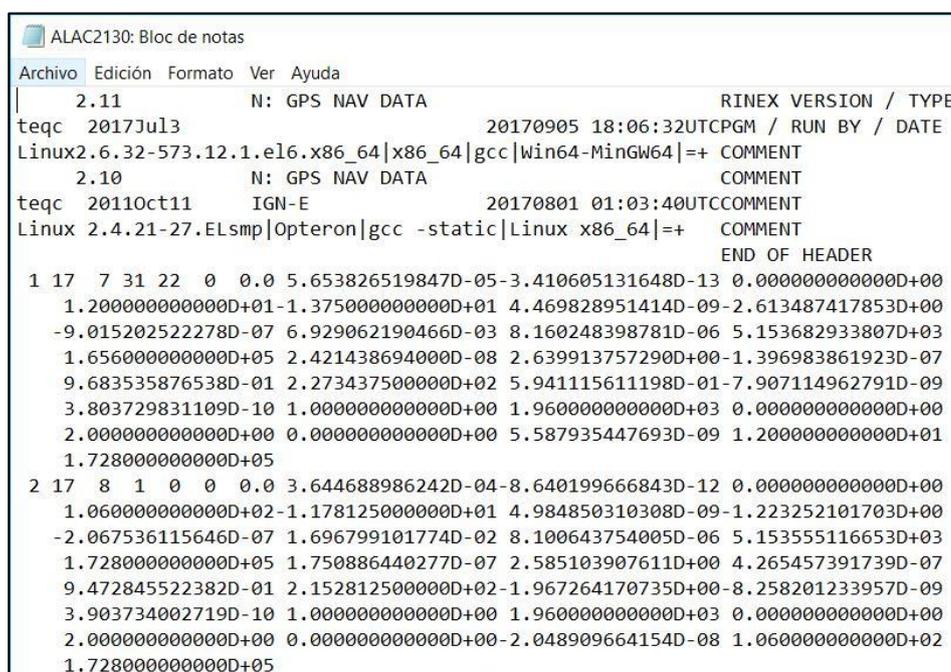
De estos ficheros utilizaremos los de observación y navegación. Para ello, necesitaremos ayuda externa, pues no podemos trabajar sobre estos ficheros sin más. Necesitaremos comprimirlos y descomprimirlos, ejecutarles controles de calidad o unir varios archivos entre otras, por lo que usaremos los programas Hatanaka y teqc, cuya descripción está en el apartado 10.5.

Los archivos RINEX se recomiendan ser almacenados siguiendo la siguiente nomenclatura estandarizada:

## ssssddd.f.yyt

Donde cada conjunto de letras tiene un significado:

- ssss: 4 caracteres que establecen el nombre de la estación.
- ddd: Día del año en que se produce la observación, siendo el primer día de medición. Va desde 001 hasta 365.
- f: Indica la hora a la que se ha producido la toma de datos. Con f=a para la primera hora (00-01), f=b para la segunda (01-02) y sucesivamente hasta completar el día con f=x (23-24).
- yy: 2 dígitos que marcan el año en que se produce el archivo (dos últimos).
- t: La variable más extensa en posibilidades, pudiendo ser:
  - O: fichero de observación.
  - N: fichero de navegación.
  - M: fichero meteorológico.
  - G: fichero de navegación GLONASS.
  - L: fichero de navegación de Galileo.
  - P: fichero de mensaje de navegación mixto
  - H: fichero de navegación GPS utilizando geoestacionarios (SBAS).
  - B: archivo de emisión de datos SBAS geoestacionario.
  - C: archivo de reloj.
  - S: archivo de resumen, sin estándar.



```
ALAC2130: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
| 2.11 N: GPS NAV DATA RINEX VERSION / TYPE
teqc 2017Jul3 20170905 18:06:32UTC / RUN BY / DATE
Linux2.6.32-573.12.1.el6.x86_64|x86_64|gcc|Win64-MingW64|=+ COMMENT
2.10 N: GPS NAV DATA COMMENT
teqc 20110ct11 IGN-E 20170801 01:03:40UTC COMMENT
Linux 2.4.21-27.ELsmp|Opteron|gcc -static|Linux x86_64|=+ COMMENT
END OF HEADER
1 17 7 31 22 0 0.0 5.653826519847D-05-3.410605131648D-13 0.00000000000D+00
1.20000000000D+01-1.37500000000D+01 4.469828951414D-09-2.613487417853D+00
-9.015202522278D-07 6.929062190466D-03 8.160248398781D-06 5.153682933807D+03
1.65600000000D+05 2.421438694000D-08 2.639913757290D+00-1.396983861923D-07
9.683535876538D-01 2.273437500000D+02 5.941115611198D-01-7.907114962791D-09
3.803729831109D-10 1.00000000000D+00 1.96000000000D+03 0.00000000000D+00
2.00000000000D+00 0.00000000000D+00 5.587935447693D-09 1.20000000000D+01
1.72800000000D+05
2 17 8 1 0 0 0.0 3.644688986242D-04-8.640199666843D-12 0.00000000000D+00
1.06000000000D+02-1.17812500000D+01 4.984850310308D-09-1.223252101703D+00
-2.067536115646D-07 1.696799101774D-02 8.100643754005D-06 5.15355116653D+03
1.72800000000D+05 1.750886440277D-07 2.585103907611D+00 4.265457391739D-07
9.472845522382D-01 2.152812500000D+02-1.967264170735D+00-8.258201233957D-09
3.903734002719D-10 1.00000000000D+00 1.96000000000D+03 0.00000000000D+00
2.00000000000D+00 0.00000000000D+00-2.048909664154D-08 1.06000000000D+02
1.72800000000D+05
```

Figura 8.2 Archivo RINEX de Navegación tras pasar por teqc.

## 8.2. Obtención y manipulación

En este apartado se describe la forma en la que se puede acceder a los datos dependiendo de cuales se trate y cualquier programa utilizado para facilitar la tarea. Los datos obtenidos para el trabajo son los correspondientes a los días que se comprenden entre el 1 y 5 de agosto de 2017, que a su vez son los días 213 y 217 (respectivamente) en calendario GNSS.

Para la obtención de los datos, se ha recurrido al organismo internacional que gestiona los datos GNSS de acceso a usuarios, llamado International GNSS Service (IGS). Dicho organismo está compuesto por más de 200 agencias, todas ellas encargadas de la distribución de los datos GNSS por todo el mundo. Para España contamos con el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el cual tiene repartidas un total de 75 estaciones GNSS por toda España a las que se referencia como ERGNSS. De estas estaciones, 24 forman parte de la red europea EUREF y 3 están integradas en la red mundial del IGS. Esta red ha sido desarrollada por el área de geodesia del IGN, persiguiendo los siguientes objetivos:

- Obtención de coordenadas muy precisas y campo de velocidades en todos los puntos de la red.
- Contribución a la definición de los nuevos Sistemas de Referencia Globales (ITRF) en el territorio nacional.
- Ser puntos fundamentales de la Red Europea EUREF de estaciones permanentes (EPN) para la densificación de los marcos globales y definición del sistema ETRS89.
- Utilización de los registros de datos continuos para estudios de Geodinámica, troposfera, ionosfera, meteorología, etc.
- Definir una red fundamental como apoyo para aplicaciones en tiempo real de correcciones diferenciales (DGNSS) y RTK.
- Proporcionar a los usuarios de GNSS, públicamente, los datos para trabajos geodésicos, cartográficos, topográficos y de posicionamiento en general.

Los datos para este trabajo son los correspondientes a la base emplazada en Alicante y cuyo nombre de referencia o código es ALAC. Todos los datos de la estación los podemos encontrar en su ficha, que se puede ver en la Figura 8.3.

Para acceder a los datos de la base, el IGN establece un servidor FTP (File Transfer Protocol). A través de este servidor se pueden descargar los datos para el post-procesado, atendiendo a la frecuencia de la toma de datos, en ficheros horarios o diarios. Según estas características, encontramos diferentes carpetas que organizan la información.

## Reseña de Estación Permanente - ERGNSS

26-ago-2017

### Situación:

Código.....: **ALAC**  
 Nombre.....: **Alicante**  
 Código IERS: 13433M001  
 Instalación...: 03 de junio de 1998

Municipio: Alicante/Alacant  
 Provincia: Alicante/Alacant

Localización.: Puerto de Alicante. Edificio del mareógrafo

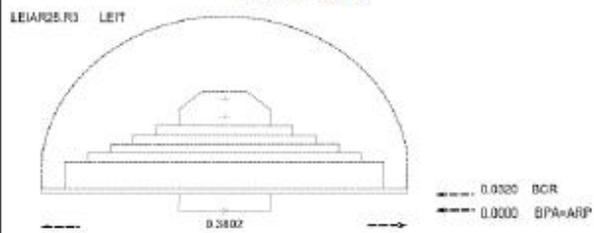
Construcción: Hexaedro de hormigón armado, torre metálica de 3 m de altura. La marca de coordenadas se encuentra en la cara superior del hexaedro.

### Coordenadas ETRS89:

Longitud.....: - 0° 28' 52,43704"	X.....: 5009051.399 m.
Latitud.....: 38° 20' 20,10357"	Y.....: -42072.472 m.
Altitud elipsoidal: 60.356 m.	Z.....: 3935057.504 m.
X UTM.....: 720135.941 m.	Altitud sobre el nivel medio del mar:
Y UTM.....: 4246422.301 m.	Huso.....: 30

### Instrumentación:

Receptor: GR25  
 Antena: LEIAR25.R3 LEIT Altura: 3.0350 m. (BPA)  
 Offset de centros de fase de antena: L1 0.162 m. L2 0.159 m.  
 Esquema antena



### Información adicional:

Esta estación permanente, además de a la red ERGNSS, pertenece a la siguiente red:

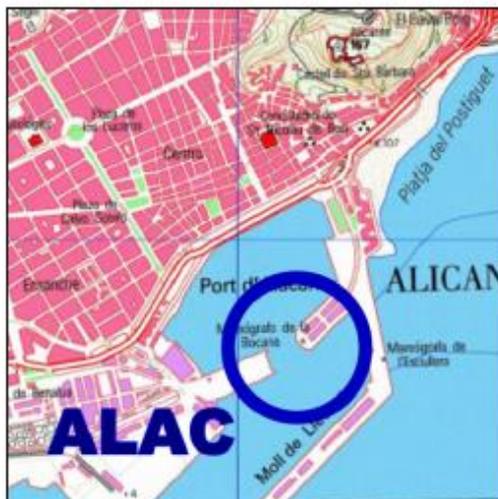
- Red de EUREF Permanent Network (EPN): <http://www.epncb.com>

Datos horarios a 1, 5, 15 y 30 segundos y diarios a 30 segundos  
<ftp://ftp.geodesia.ign.es>

Emite correcciones diferenciales a través del Caster <http://ergnss-ip.ign.es>  
 a través de los puntos de montaje:

- ALAC0 formato de la corrección RTCM versión RTCM 3.1
- ALAC1 formato de la corrección RTCM versión RTCM 2.3

E-mail de contacto: [buzon-geodesia@fomento.es](mailto:buzon-geodesia@fomento.es)



### Observaciones:

Observaciones:

Figura 8.3: Estación de Alicante, datos y posición.

Para este trabajo se ha considerado una frecuencia de una toma de datos por segundo, encontrando así los archivos RINEX a los que queremos acceder en la carpeta cuyo nombre es “horario\_1s”, pues la primera clasificación que encontramos es según la frecuencia de toma de datos. Dentro de esta carpeta hemos de buscar los días elegidos para el estudio.

Una vez dentro, encontramos el mayor problema de hacerse con los datos, y es que se encuentran ordenados de forma horaria y no según la base a la que hacen referencia, complicando mucho así la tarea de obtención pues se han de descargar uno a uno los diferentes archivos.

## Índice de /ERGNSS/horario\_1s/20170805/

 [directorio principal]

Nombre	Tamaño	Fecha de modificación
 ALMO217I.17G.Z	4.7 kB	5/8/17 13:04:00
 UJAE217E.17d.Z	547 kB	5/8/17 9:07:00
 LEON217U.17S	19.3 kB	6/8/17 1:04:00
 VDKO217U.17G.Z	3.6 kB	6/8/17 1:08:00
 IGNE217W.17S	18.9 kB	6/8/17 3:02:00
 SMDV217S.17S	19.8 kB	5/8/17 23:09:00
 ALMO217S.17N.Z	9.4 kB	5/8/17 23:04:00
 LRES217U.17d.Z	483 kB	6/8/17 1:02:00
 VIGO217S.17G.Z	2.0 kB	5/8/17 23:01:00
 CBON217G.17N.Z	8.6 kB	5/8/17 11:04:00
 ALOR217V.17S	19.7 kB	6/8/17 2:02:00
 FRAG217K.17N.Z	8.9 kB	5/8/17 15:04:00
 HUE1217X.17S	18.8 kB	6/8/17 4:10:00
 EIVI217T.17d.Z	536 kB	6/8/17 0:06:00
 MOFR217L.17S	17.1 kB	5/8/17 16:05:00
 CBON217O.17N.Z	9.1 kB	5/8/17 19:04:00
 GUDI217I.17S	16.7 kB	5/8/17 13:04:00
 TUD1217T.17N.Z	3.2 kB	6/8/17 0:04:00
 RIO1217W.17N.Z	9.1 kB	6/8/17 3:05:00
 SMDV217R.17G.Z	2.6 kB	5/8/17 22:09:00
 ALBA217X.17S	19.2 kB	6/8/17 5:01:00
 SALA217L.17S	21.1 kB	5/8/17 16:04:00
 XIXO217P.17N.Z	3.5 kB	5/8/17 20:02:00
 ISPS217W.17S	17.7 kB	6/8/17 3:11:00
 TARI217O.17d.Z	672 kB	5/8/17 19:08:00
 IZAN217Q.17G.Z	5.0 kB	5/8/17 21:01:00
 ALC1217D.17N.Z	3.3 kB	5/8/17 8:03:00

Figura 8.4: Interfaz del directorio FTP.

Añadida a esta dificultad, nos encontramos que debemos descargar un fichero por cada hora y un total de 5 días, resultando un total de 120 archivos. Puesto que necesitamos los ficheros de observación y navegación, se alcanza un total de 240 archivos que, de la manera descrita, suponen un muy tedioso proceso que se puede agilizar mediante el uso de software.

Este software recibe el nombre de PAG (Programa de Aplicaciones Geodésicas), software libre del IGN y que se puede descargar directamente desde su página web. Este programa agiliza drásticamente el proceso de descarga de los archivos RINEX a partir de una interfaz muy sencilla de manejar.

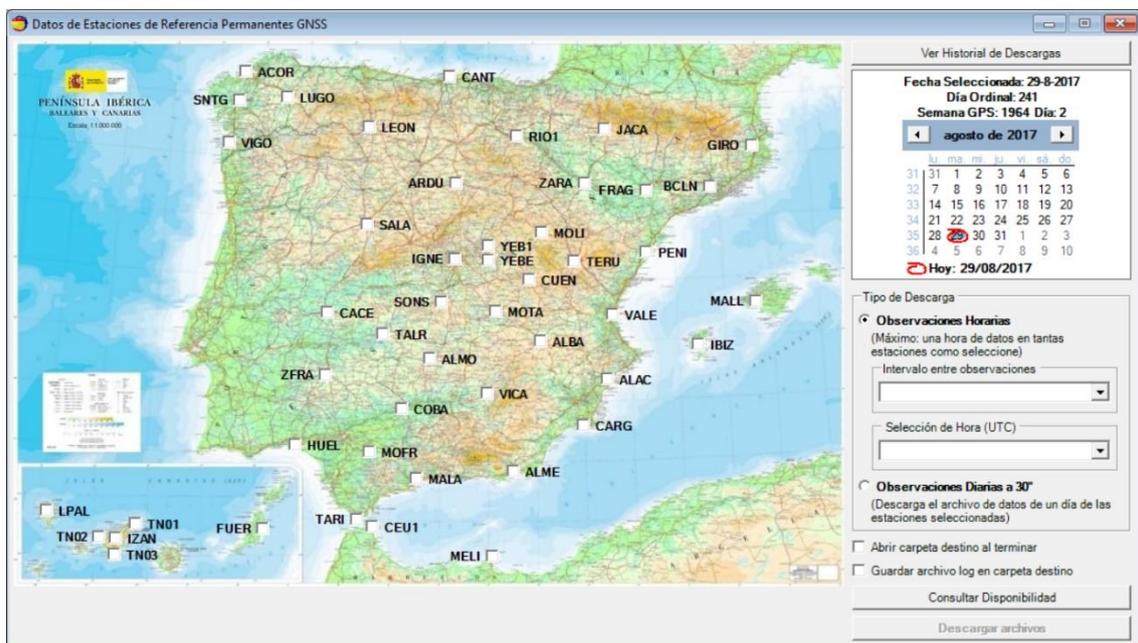


Figura 8.5: Interfaz que presenta el software PAG.

Primeramente, como vemos en la Figura 8.5, debemos de seleccionar la estación de la que queremos obtener los datos en el mapa. A la derecha seleccionaremos el día y la hora que deseemos, al igual que la frecuencia de obtención de datos a la que queremos acceder. Al ejecutar "Descargar archivos" el programa nos descargará tanto el fichero de observación en formato .17d y el de navegación en formato .17N. Estos ficheros tendremos que tratarlos posteriormente con el software Hatanaka (para los de observación) y con teqc para ambos casos (ver descripción en apartado 10.5).

Gracias al uso de PAG, se ha producido un gran ahorro de tiempo en la obtención de estos datos, permitiendo el cambio en la fecha seleccionada pues, casualmente el tercer día, mostraba 4 horas sin servicio y se ha tenido que buscar otro periodo.

A parte de estos 240 archivos de observación y navegación, es necesario la obtención de datos de aumentación, puesto que las prestaciones de GPS no son suficientes para los procedimientos LPV-200. Como ya se ha descrito previamente, se trabaja con los datos del sistema europeo EGNOS.

Estos datos ya no los encontramos en el mismo servidor FTP, sino que nos hemos de mover al FTP de EGNOS Data Acces System (también conocido como EDAS). Este servicio es el encargado de almacenar y transferir dato EGNOS sin necesidad de conexión.

Para ello es necesario registrarse en el servicio de EGNOS Helpdesk, al cual se le solicita un usuario y contraseña de acceso, aportando información del propósito de acceder a EDAS. Tras unos días se consigue el mencionado acceso, momento en el que es necesaria la instalación del software WinSCP, programa de apoyo para acceder al servidor FTP de EDAS como ya se usa el PAG para el IGN.

Encontramos los archivos estructurados de manera cronológica, haciéndonos seleccionar primeramente el año y a continuación el día del calendario GPS del que queremos obtener la información. Acto seguido, se selecciona la estación deseada y el formato en el que queremos obtener los datos. En este caso, se buscan los ficheros de extensión .B para cada día, resultando en un total de 5 archivos, pues se trata de archivos diarios y no horarios como los de observación o navegación.

La nomenclatura de los ficheros es brdcddd0.yyB.Z, donde encontramos que ddd es el día del calendario GPS e yy son los dos últimos dígitos del año de estudio.

Haciendo una visión global, finalizamos la obtención de datos con 120 archivos de observación (formato comprimido Hatanaka) de nombre ALAC [213-217](A-X).17D, 120 ficheros de navegación de nombre ALAC [213-217](A-X).17N, y 5 archivos SBAS de nombre BRDC[213-217]0.17b).

# 9. Validación y certificación de procedimientos PBN

Para poder llevar a cabo una validación de un sistema SBAS, se debe seguir lo dictado por la OACI en materia de validación de procedimientos PBN. Tras el diseño de procedimientos RNAV SID y STAR para operaciones RNP, se definió una metodología de validación que se puede dividir en dos secciones o en 3 fases diferentes: la sección de validación en tierra (que incluye la fase de evaluación GNSS de Largo Plazo y la Campaña de toma de datos sobre terreno) y la sección de validación en vuelo (que incluye la fase de Ensayo de Vuelo).

A continuación, se describen las 3 diferentes fases para la validación:

## 9.1. Evaluación GNSS de Largo Plazo

La evaluación GNSS de Largo Plazo es la primera fase de la certificación para un procedimiento PBN, según lo establecido por la OACI. Esta contempla un total de 6 meses en los que se observan los valores de las prestaciones de precisión, disponibilidad, integridad y continuidad para un sistema GNSS-SBAS, buscando que estos cumplan los requerimientos descritos para el tipo de operación en estudio.

Los datos necesarios para poder llevar a cabo esta evaluación los podemos obtener de la página web de ESSP (del inglés European Satellite Services Provider), el cual se erige como el proveedor de los datos del servicio EGNOS y publica informes de manera mensual, en los que se ha consultado las estadísticas necesarias para comprobar el rendimiento.

Los meses contemplados para el estudio son los comprendidos entre enero 2017 y junio 2017 (ambos inclusive), para la zona de ALicante. Seguimos los parámetros descritos en el apartado 4 y comprobamos que los obtenidos de ESSP cumplan.

Puesto que en los informes del ESSP no vienen datos del propio aeropuerto, se ha optado por escoger el valor máximo dado por cualquier estación RIMS objeto de estudio. Se podría haber optado por escoger el valor máximo entre las estaciones de Málaga y Palma de Mallorca (dada la proximidad al aeropuerto), pero se ha preferido optar por esta medida pues hacia más restrictivo el estudio y, en el hipotético caso de cumplir para la peor situación, sabemos que estaremos del lado de la seguridad.

### 9.1.1. Precisión

En el apartado de Prestaciones, definíamos la precisión como la diferencia existente entre las posiciones estimada y real, expresada habitualmente como el percentil 95 de los errores encontrados tanto en la navegación horizontal como vertical. Para la operación de estudio, esto es, LPV-200, los valores exigidos por la normativa se establecen en un máximo de 16m para el plano horizontal y de entre 4m y 6m para el vertical.

	Enero 17	Febrero 17	Marzo 17	Abril 17	Mayo 17	Junio 17
HNSE (m)	1.2	1.1	1	1	1.1	1
VNSE (m)	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2

Figura 9.1: : Datos de precisión para el sistema LPV-200.

Observamos que los errores de posición se encuentran por debajo de los límites establecidos, cumpliendo de esta manera con el requisito de precisión.

### 9.1.2. Disponibilidad

La disponibilidad la interpretamos como el porcentaje de tiempo que el servicio del sistema es utilizable por el receptor. Para su análisis podemos optar por dos métodos diferentes, ya sea fijándonos en la disponibilidad como porcentaje de tiempo que la señal en el espacio está disponible o respecto del tiempo total. La OACI establece que la disponibilidad para operaciones LPV-200 sea mayor de 99%.

Analizando los satélites de PRN 120 y EGNOS OP2, obtenemos los siguientes resultados.

	Enero 17	Febrero 17	Marzo 17	Abril 17	Mayo 17	Junio 17
PRN 120	99.82%	99.99%	99.95%	99.99%	99.85%	99.88%
EGNOS OP2	99.99%	100.00%	99.99%	99.99%	99.99%	100.00%
PRN 120 o OP2	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
PRN 120 y OP2	99.82%	99.99%	99.95%	99.99%	99.85%	99.88%

Figura 9.2: Satélites activos y su disponibilidad SIS.

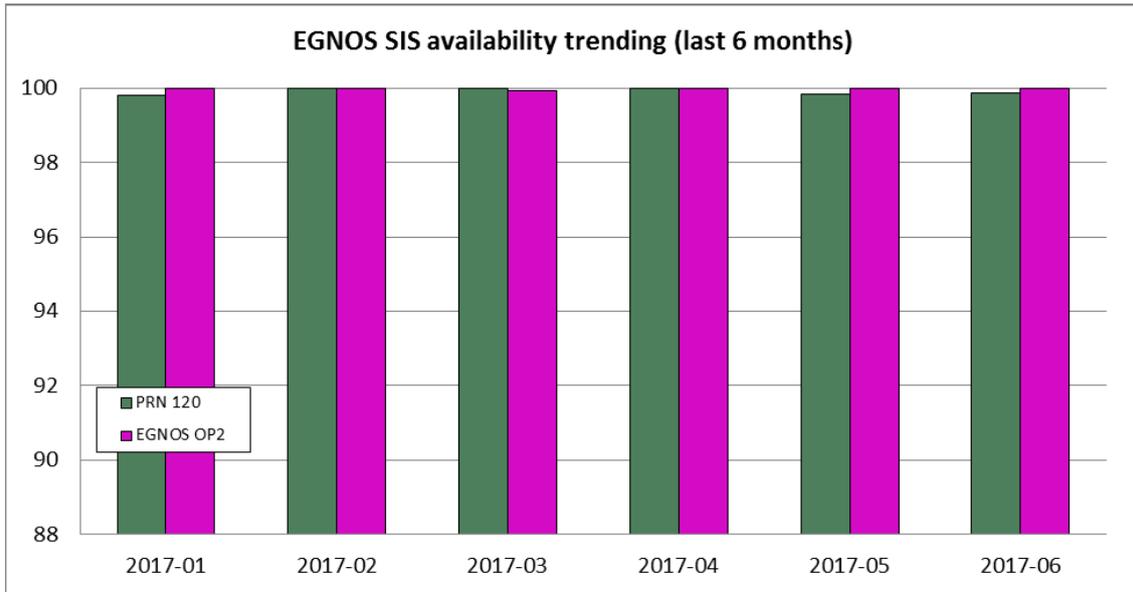


Figura 9.3: Evolución de la disponibilidad de los satélites de estudio durante 6 meses.

Se entiende EGNOS OP2 como el segundo satélite operacional utilizado. No se ha empleado un PRN particular puesto que a fecha de 20 de marzo de 2017 se cambió. Los tres primeros meses de estudio utilizan PRN 136 mientras que los 3 finales emplean el de PRN 123.

Podemos observar en la segunda fila como durante el 100% de tiempo hay un satélite disponible, lo cual cumple los mínimos marcados por la OACI.

Realizando ahora el segundo método, observamos la disponibilidad según se cumplan, o no, los niveles de protección tanto vertical como horizontal. Siendo así:

	Enero 17	Febrero 17	Marzo 17	Abril 17	Mayo 17	Junio 17
HPL<40m y VPL<35m	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%

Figura 9.4: Datos de disponibilidad para el sistema LPV-200.

Cumpliendo de nuevo con los requisitos establecidos para la certificación.

### 9.1.3. Integridad

Con la integridad medíamos la confianza que se puede depositar en el correcto funcionamiento del suministro de información, con la capacidad de avisar de fallo en caso de existir. Para que la integridad cumpla los requisitos establecidos, el valor no debe superar el valor de 1:

	Enero 17	Febrero 17	Marzo 17	Abril 17	Mayo 17	Junio 17
HSI (m)	0.25	0.22	0.24	0.23	0.25	0.25
VSI (m)	0.4	0.29	0.32	0.35	0.3	0.29

Figura 9.5: Datos de integridad para el sistema LPV-200.

Donde se observa que la Integridad nunca supera el valor mencionado de 1, por lo que podemos decir que los requisitos de integridad también se cumplen.

#### 9.1.4. Continuidad

La última de las prestaciones a analizar es la continuidad, que retomando la descripción decíamos es la capacidad del sistema en su conjunto para llevar a cabo su función sin interrupción en el servicio durante el cual se asume tiene que funcionar, y para las operaciones LPV-200 (de aproximación) dicha capacidad es en periodos de 15 segundos.

Los resultados extraídos de los informes son los siguientes:

	Enero 17	Febrero 17	Marzo 17	Abril 17	Mayo 17	Junio 17
Continuidad (periodo 15s)	<0.0001	<0.00001	<0.00001	<0.0001	<0.0001	<0.00001

Figura 9.6: Datos de continuidad para el sistema LPV-200.

Los valores, para conseguir superar los requerimientos establecidos, deben de situarse entre 1 y  $8 \cdot 10^{-6}$ . Esta situación no se da, con lo que la continuidad, como ya se esperaba por lo mencionado previamente, no cumple lo establecido como mínimo. Sin embargo, en vistas de que estos son los peores resultados de EGNOS, la OACI permite el uso del sistema siempre que se pueda garantizar la mitigación de los fallos a partir de un plan bien definido.

## 9.2. Campaña de toma de Datos sobre Terreno

El siguiente paso en la validación de un sistema LPV-200 es la toma de datos sobre el terreno y su análisis. En esta situación si que es importante conseguir datos de la estación donde se está llevando a cabo el estudio PBN. Los datos deben de tener una duración mínima de 36h consecutivas, en nuestro caso para este trabajo de 5 días completos, siendo estos los días comprendidos entre 213 y 217 de 2017. Los datos son analizados, tras un proceso con diferentes herramientas de software, a través de la herramienta de EUROCONTROL llamada PEGASUS, que se describe en el apartado a continuación.

### 9.3. Ensayo de Vuelo

Última fase de la validación de procedimientos PBN. Consiste en la obtención de datos durante una realización del procedimiento en desarrollo, su procesamiento y análisis, siempre y cuando los datos de la fase anterior hayan sido positivos. Comprobamos así el correcto funcionamiento y que el procedimiento este bien diseñado, observando posibles fallos en cualquier momento de la aproximación.

# 10. Software

Para el desarrollo de este Proyecto, la utilización de diferentes programas ha sido fundamental. De los que se van a describir a continuación, no se han empleado todos ellos, pero han resultado útiles en la familiarización con los datos GNSS y la certificación de sistemas EGNOS.

Para esto se ha utilizado software libre de la ESA y, para el tratamiento y procesado de datos, se ha empleado el software PEGASUS de EUROCONTROL. De ellos, se han obtenido datos y gráficos mediante los cuales se ha podido analizar, al igual que se han podido llevar a cabo diferentes simulaciones. Con todo ello se han obtenido las conclusiones que se presentan en este Trabajo.

## 10.1. SBAS TeACHER

SBAS TeACHER (del inglés SBAS Tool for education And Contributor to Harness EGNOS Research), es un programa desarrollado por ESA en colaboración con Iguassu Software Systems que busca ayudar a los estudiantes a comprender mejor los mensajes SBAS.

Da la posibilidad de decodificar los mensajes, cambiar el contenido o codificarlos igualmente, dando lugar a posibles creaciones de nuevos mensajes desde el principio.



Figura 10.1: Interfaz del software SBAS TeACHER.

## 10.2. SBAS MeNTOR

SBAS MeNTOR (SBAS MESSAGE GENERATOR) es la evolución del software SBAS TeACHER de la Agencia Espacial Europea (ESA). Esta nueva versión permite crear o decodificar una secuencia de mensajes SBAS de un periodo determinado de tiempo.

Mientras que el anterior sólo permite trabajar sobre un mensaje, este permite hacerlo sobre archivos EMS (mucho más completos). A su vez, permite cargar información como datos reales de EGNOS a través de SISNET, otra plataforma conocida y que se describe a continuación.

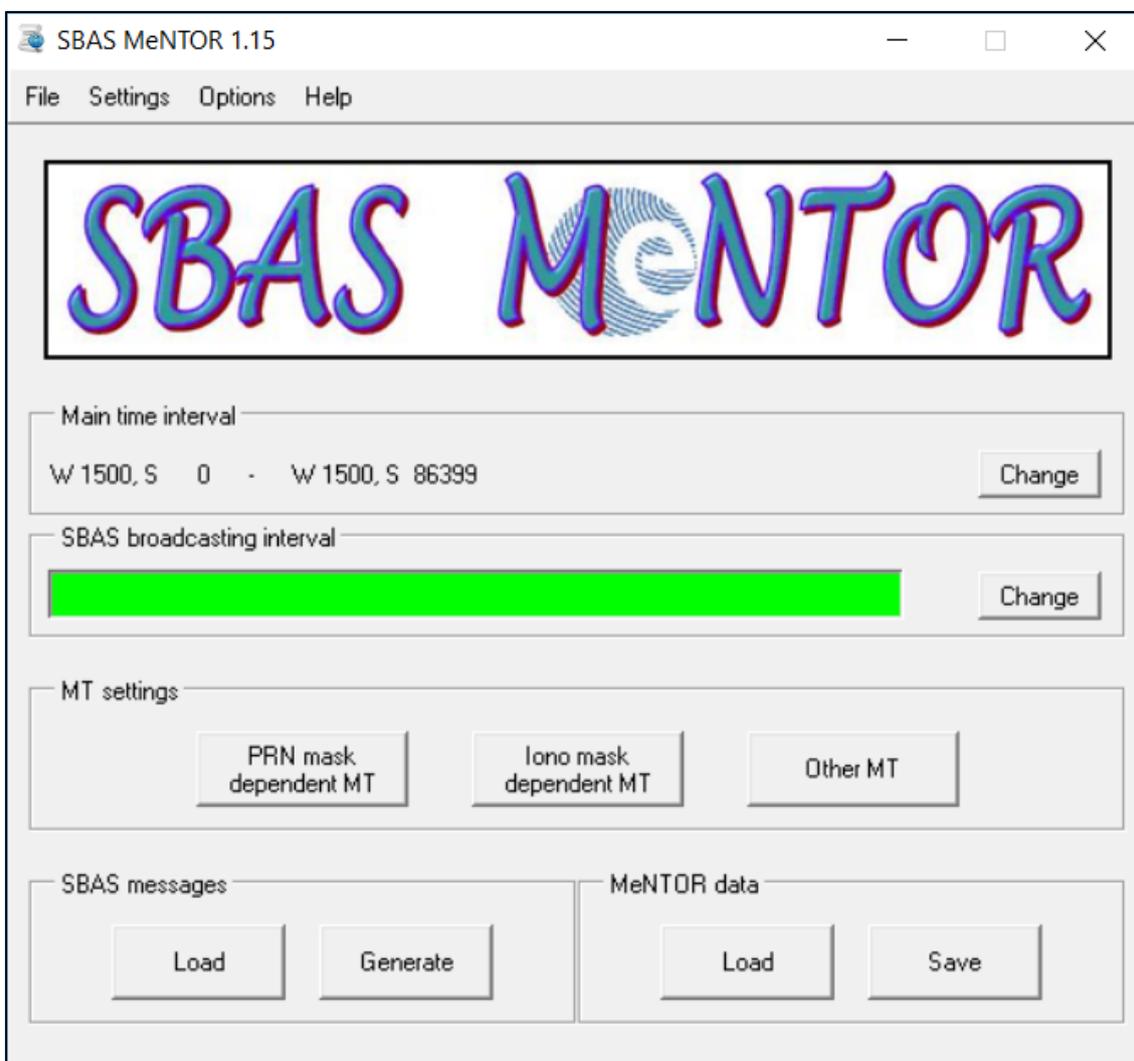


Figura 10.2: Interfaz del software SBAS MeNTOR.

Mientras que el anterior no se ha usado (considerando que se tiene una mejor versión en el SBAS MeNTOR), este software se ha utilizado para poder visualizar los mensajes de EGNOS y poder editar los parámetros de los mismos. Dentro de las

posibilidades que nos ofrece, una opción es la de seleccionar diferentes satélites que se encuentren operativos, con la máscara PRN que le corresponda, configurando apropiadamente los diferentes tipos de mensajes; también se puede seleccionar y alterar la cuadrícula IGP (del inglés Ionospheric Grid Points).

Como último punto a destacar, el SBAS MeNTOR posee y presenta diferentes formas a la hora de modificar los mensajes y se encarga de enlazarlos para que tengan sentido al final (caso que no se producía con el anterior pues es el usuario en encargado de hacer dicho enlace). A su vez elige el mensaje que más se ajusta para ser enviado de acuerdo con la situación en que se encuentre.

### 10.3. SISNeTlab

La Agencia Espacial Europea posee una tecnología llamada SISNeT, la cual combina las capacidades de la navegación por satélite e Internet. La información de navegación de alta precisión que se recibe de EGNOS pasa a estar disponible en Internet y en tiempo real con esta aplicación.

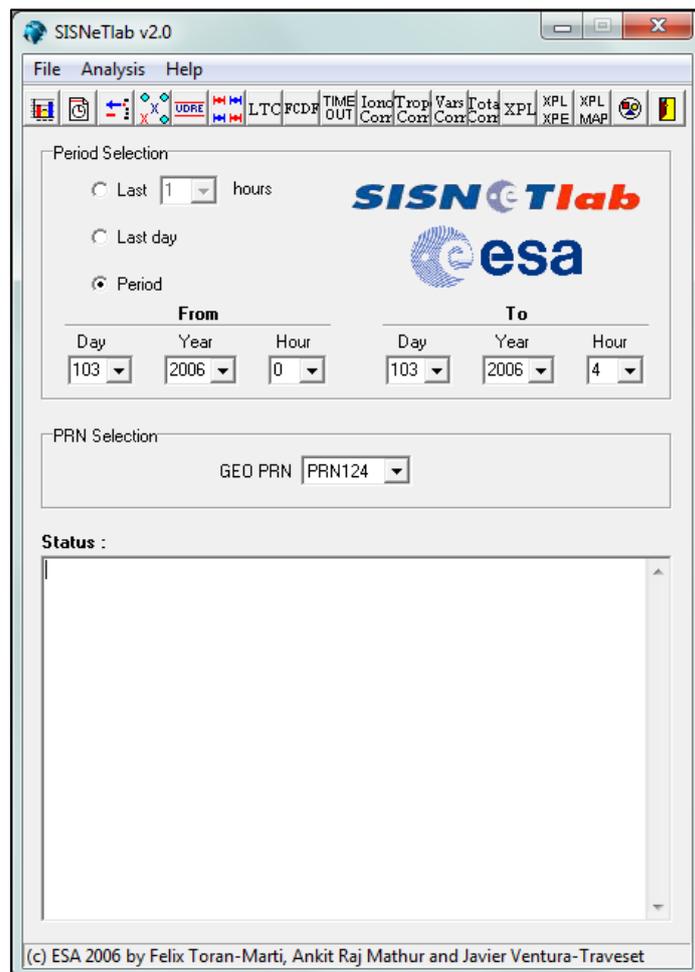


Figura 10.3: Interfaz del software SISNeTlab.

Uno de los softwares que SISNeT presenta es SISNeTlab, el cual permite a los usuarios acceder de forma rápida y fácil a los datos y rendimiento de los sistemas SBAS. Se provee así al usuario con una gran variedad de funcionalidades y los gráficos extraídos de su uso son de gran ayuda a la hora de comparar y mejorar el entendimiento de los sistemas SBAS. Presenta una estructura modular, dando independencia a cada uno de los diferentes módulos, que unido a su ámbito de uso universitario, invita a la implementación de nuevos módulos.

Algunas de las funcionalidades que presenta el software son el análisis de mensajes, errores, niveles de protección, UDRE y GIVE y análisis de correcciones. Frente a los dos programas descritos previamente, en este no es necesaria la introducción de datos en formato .ems descargados por el usuario, simplemente introduciendo los días que marcan el periodo deseado en la interfaz es suficiente.

Podemos también seleccionar el tipo de análisis e incluso el PRN del satélite que queramos analizar, y es entonces cuando el propio programa descarga los datos necesarios desde la FTP de EMS y analiza lo que hayamos solicitado.

## 10.4. SISNeT UAS

La otra aplicación de SISNeT es SISNeT UAS (User Application Software) y se establece como la herramienta que podemos usar para analizar el contenido de los mensajes EGNOS que el propio programa obtiene de Internet.

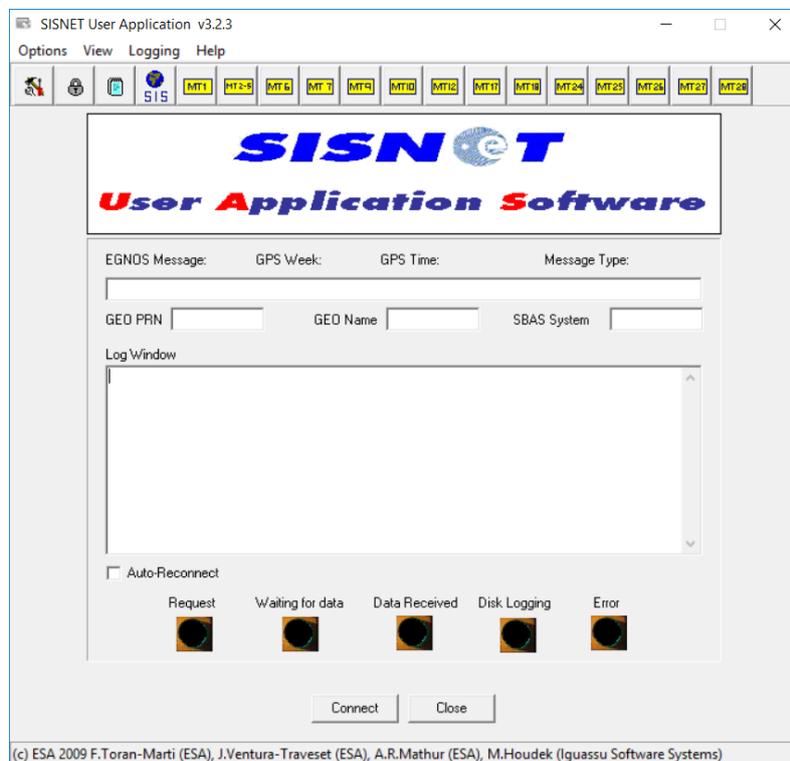


Figura 10.4: Interfaz del software SISNet UAS.

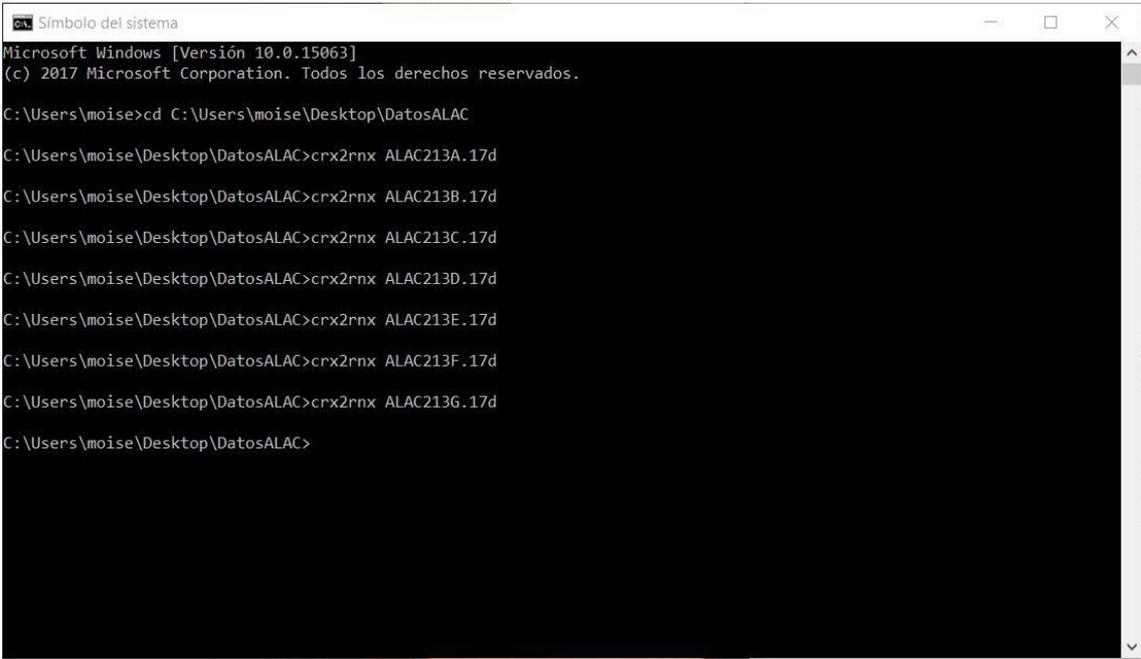
## 10.5. Procesado RINEX

### 10.5.1. Hatanaka

Hatanaka es una herramienta compuesta por dos programas diferentes: RXN2CRX y CRX2RNX. El primero de ellos se utiliza para la comprensión y el segundo para descomprensión de los archivos de observación RINEX en archivos ASCII con un tamaño mucho menor. Una vez los archivos RINEX se han comprimido mediante Hatanaka se comprimen de nuevo con el tipo UNIX (también conocido como .zip) reduciendo más aún el tamaño original de los archivos y posibilitando una transferencia vía Internet mucho más asequible y viable.

En este trabajo se ha realizado el proceso contrario, obteniendo los datos de Internet y siendo necesarios varios pasos para obtener aquellos con los que poder trabajar de forma definitiva. Es ahí donde ha sido necesario el uso de Hatanaka, fácilmente accesible de forma libre por Internet.

El proceso a seguir comienza descomprimiendo los archivos con extensión .Z con un programa tradicional de descomprensión de archivos como pueda ser WinZip. De esta manera se obtiene un fichero con extensión .d, el cual trae los datos RINEX en formato RINEX comprimido. Juntamos todos los archivos .d en una carpeta en la que también tengamos el fichero de Hatanaka crx2rn.exe y entonces ejecutamos la ventana de comando de Windows.



```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.15063]
(c) 2017 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\moise>cd C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>crx2rn ALAC213A.17d

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>crx2rn ALAC213B.17d

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>crx2rn ALAC213C.17d

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>crx2rn ALAC213D.17d

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>crx2rn ALAC213E.17d

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>crx2rn ALAC213F.17d

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>crx2rn ALAC213G.17d

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>
```

Figura 10.5: cmd de Windows con ejecución del fichero crx2rn.exe.

Accedemos a nuestra carpeta con el comando `cd` + la raíz y escribimos después “`crz2rnx nombearchivo.d`”. Esto generará un archivo con el mismo nombre que el seleccionado pero de extensión `.o`, que es el propio archivo de observación. En Figura 10.5 vemos los diferentes pasos a seguir para la descompresión de los archivos `.d` a archivos `.o`.

Si hacemos cálculos con el tamaño de los diferentes archivos que hemos manejado, vemos como los 120 archivos de extensión `.Z` pesan 67.8 MB, pasando a pesar 232 MB al ser descomprimidos a `.d`. Tras pasar la herramienta `crx2rnx` de Hatanaka obtenemos que los 120 archivos de extensión `.o` obtenidos ocupan un total de 0.98 GB. Vemos así como de importante resultan las compresiones para la transferencia de archivos vía Internet.

## 10.5.2. `teqc`

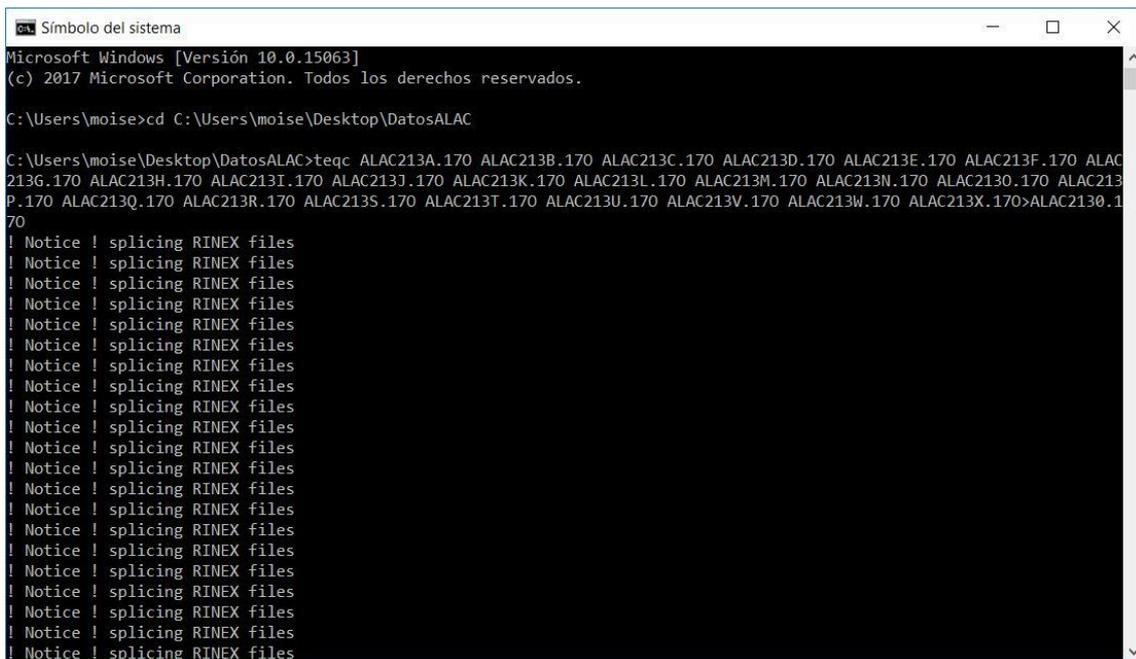
`teqc` es una herramienta de UNAVCO que nos permite usar archivos en formato RINEX y manipularlos igualmente. Permite resolver gran cantidad de los problemas que pueden aparecer en el pre procesado de datos GNSS y podemos agrupar estas funciones en 3 grupos, grupos que dan nombre al programa (`teqc` proviene de Translation, Editing and Quality Check). Todas estas funciones se pueden utilizar en conjunto o de manera independiente, según el objetivo del usuario.

Nosotros hemos usado la parte de Editing para concatenar los diferentes ficheros en uno único por día (véase juntar los 24 archivos con todas las horas del día en uno único) y posteriormente la parte de Quality Check, pasando un control de calidad al generado archivo RINEX. De esta manera se asegura que su uso posteriormente en otros programas es viable.

Los pasos a seguir para la concatenación parten de tener todos los archivos a concatenar en una misma carpeta, en la que también se emplaza el programa `teqc.exe`. Haremos el proceso tanto para los archivos de extensión `.o` como de extensión `.n`.

Cuando se cumple esta condición podemos pasar a abrir la ventana de comando y con el comando “`cd`” llegar a nuestra raíz. Es entonces cuando escribimos la orden “`teqc nombearchivo1.o nombearchivo2.o ... nombearchivoX.o > nombearchivoconcatenado.o`”

En la Figura 10.6 vemos un desarrollo de estos pasos con datos que se han empleado para este trabajo:



```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.15063]
(c) 2017 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\moise>cd C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC

C:\Users\moise\Desktop\DatosALAC>teqc ALAC213A.170 ALAC213B.170 ALAC213C.170 ALAC213D.170 ALAC213E.170 ALAC213F.170 ALAC
213G.170 ALAC213H.170 ALAC213I.170 ALAC213J.170 ALAC213K.170 ALAC213L.170 ALAC213M.170 ALAC213N.170 ALAC213O.170 ALAC213
P.170 ALAC213Q.170 ALAC213R.170 ALAC213S.170 ALAC213T.170 ALAC213U.170 ALAC213V.170 ALAC213W.170 ALAC213X.170>ALAC213O.1
70
! Notice ! splicing RINEX files
```

Figura 10.6: cmd de Windows con ejecución del fichero teqc.exe.

Obtenemos entonces un total de 10 archivos concatenados, 5 para los ficheros de observación y otros 5 para los de navegación. A continuación, hemos de pasar el control de calidad a estos archivos. Para ello, manteniéndonos en la raíz y en la misma ventana de comando que utilizábamos antes, pasamos el comando “teqc +qc nombrearchivoconcatenado.o”, evaluando así la calidad del fichero.

Se genera al finalizar un fichero de extensión .S que es el informe de control de calidad y en el que en caso de percibir algún error de satélites particulares, se debe de cambiar a mano con un editor de texto convencional.

## 10.6. PEGASUS

PEGASUS es un software desarrollado por EUROCONTROL con el objetivo de poder analizar la información recogida de GNSS, ya sea de SBAS o de GBAS. Inició su desarrollo en el año 2000 hasta alcanzar la versión 4.8.4, que es la que se ha usado para el análisis de datos en este trabajo.

PEGASUS está dotado de un conjunto de herramientas para ayudar, tanto a los usuarios como proveedores de los Servicios de Navegación Aérea, a evaluar el comportamiento de las señales en espacio y sus aumentaciones. Algunas de las funcionalidades a destacar de este set de herramientas es la determinación de los requerimientos de aumentación GNSS como precisión, integridad, computación de los

errores de trayectoria, predicción de la continuidad y disponibilidad e incluso simulación de los algoritmos de procesamiento de las estaciones terrestres GBAS.

Es un programa modular, que como ya se ha descrito, permite la ejecución de las diferentes partes del programa de forma independiente (cálculo aislado) o en este caso secuencial, mediante la creación y uso de *Scenarios*.

Estos *Scenarios* se forman con la utilización de dos o más módulos para el análisis de sistemas de navegación como SBAS o GBAS. Acostumbra a ejecutarse en primer lugar el módulo *Convertor*, pasando a módulos de análisis y terminando en algún módulo capaz de mostrar los resultados analizados. La interfaz principal de PEGASUS es la que se muestra en la Figura 10.7:

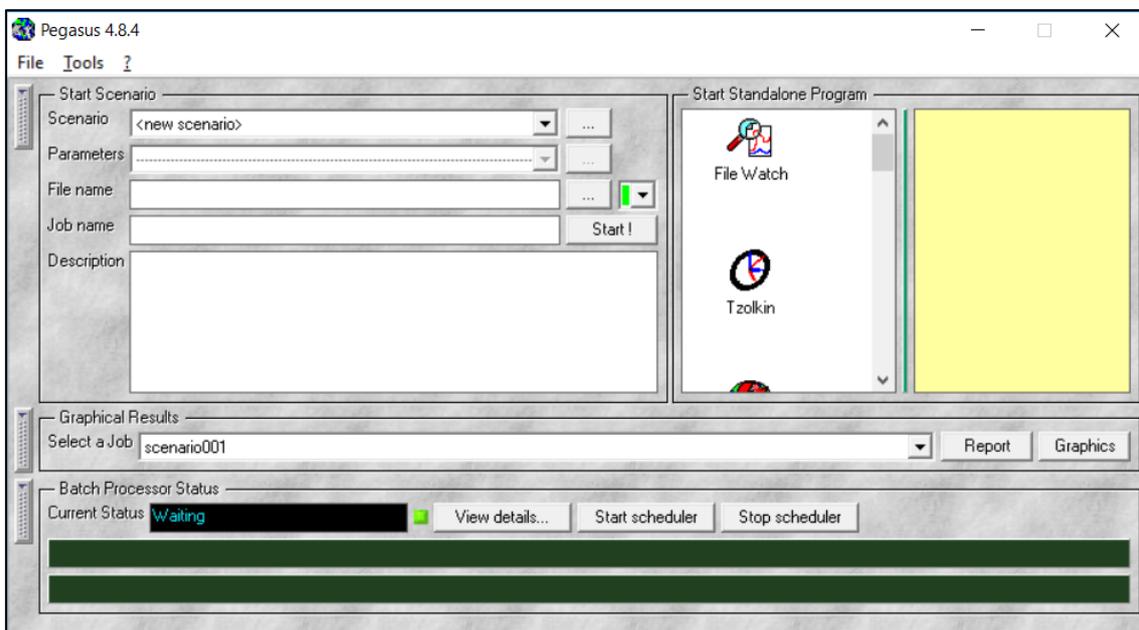


Figura 10.7: Interfaz del software PEGASUS.

Los módulos de los que dispone PEGASUS y que son de utilidad para el trabajo son los que se van a describir en las secciones siguientes, todos ellos correspondientes a módulos para el tratamiento de mensajes de datos SBAS de EGNOS y herramientas de gráficos.

De los *Scenarios* ya mencionados, existen un conjunto proporcionados por EUROCONTROL mediante los cuales poder familiarizarse con el control del software. Se han seguido los tutoriales de algunos de estos *Scenarios*, buscando el proceso más parecido a la certificación que se persigue como objetivo del presente trabajo. En la Figura 10.8 podemos ver los *Scenarios* predefinidos en el programa:

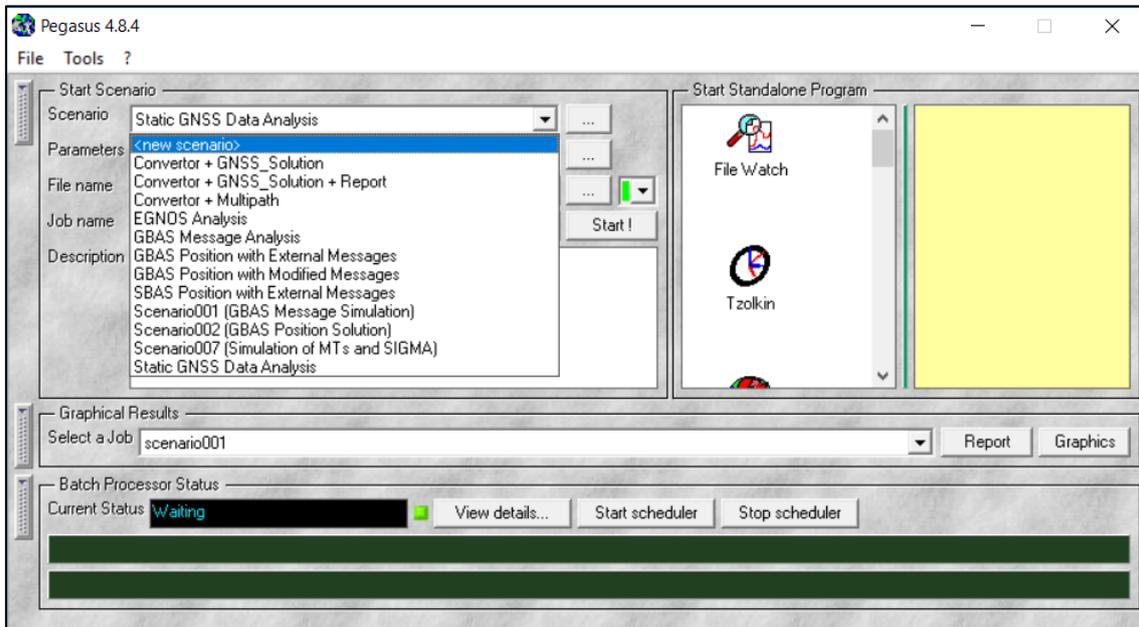


Figura 10.8: Escenarios posibles predefinidos en software PEGASUS.

## 10.6.1. Convertor

El primer paso a realizar en el uso de PEGASUS para un Proyecto es el uso del módulo Convertor. Es el primer módulo en ser ejecutado en la mayoría de casos pues es el encargado de transformar los ficheros y la información solicitada a un formato definido Standard, de tal manera que todas las aplicaciones de PEGASUS puedan utilizarlos.

El módulo Convertor acepta una gran variedad de formatos de datos de diferentes receptores GNSS, siendo SBAS en el caso de este trabajo, y las transforma todos ellos a código ASCII.

Cuando se accede a la interfaz del programa encontramos lo que aparece en la Figura 10.9. Entre las diferentes opciones que podemos utilizar, destacar la posibilidad de elegir el receptor que se prefiera (pese a que la recomendación pasa por dejar al programa elegir), elegir el modo de ejecución (según si usamos un sistema SBAS o GBAS) y poder generar un output con formato RINEX.

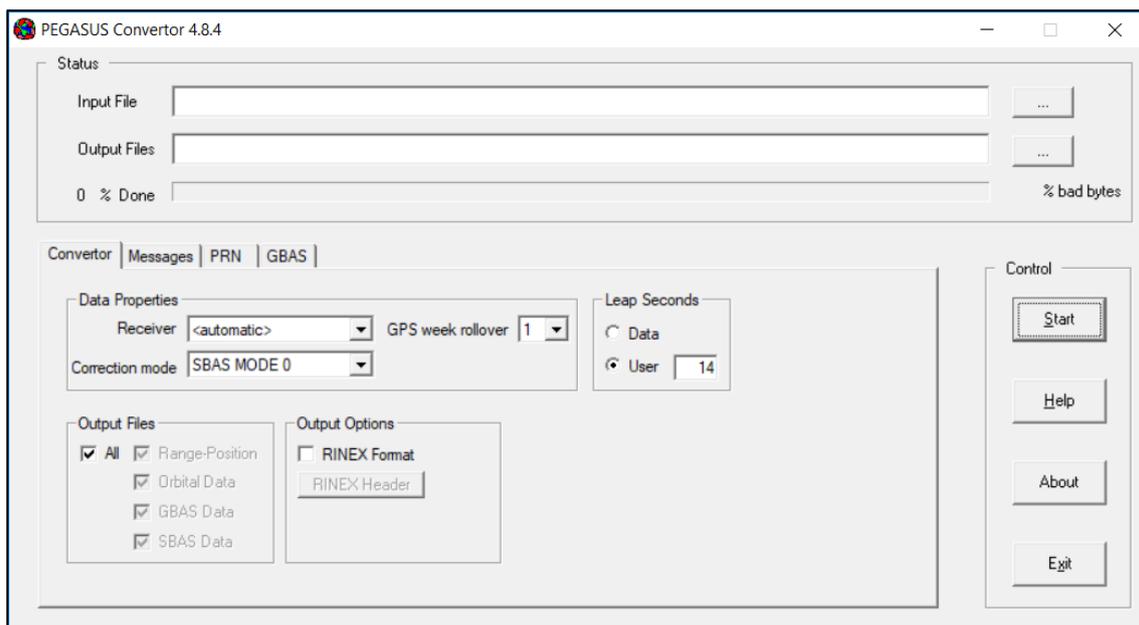


Figura 10.9: Interfaz del módulo Convertor del software PEGASUS.

Para emplear este módulo lo primero que se ha de hacer es introducir los datos de observación en formato RINEX y ejecutarlo, pues será el propio programa quien buscará los otros dos ficheros (navegación y SBAS). Para que esto sea posible debemos facilitar el trabajo cambiando el nombre de los archivos para que presenten el mismo. Así, nuestros ficheros deberán aparecer como nombrefichero.O, nombrefichero.N y nombrefichero.B.

Tras ejecutarlo, siempre se generará un archivo de extensión .log, en el cual se encuentra toda la información asociada a la ejecución del módulo, como por ejemplo errores, tipos de mensaje o satélites empleados.

El archivo generado por el módulo Convertor se introduce a continuación en el módulo GNSS Solution, el cual se pasa a describir a continuación.

## 10.6.2. GNSS Solution

Una vez obtenido el archivo del Convertor, pasamos al módulo llamado GNSS Solution. Este módulo se encarga de calcular la posición siguiendo los estándares para receptores GNSS, tratándose de una herramienta de postproceso, a la cual hay que introducir los datos en el formato adecuado, véase PEGASUS a partir del módulo Convertor.

Podemos distinguir diferentes funciones del GNSS Solution, entre las que destacar el cálculo de la solución para diferentes sistemas como posición GPS, posición DGPS (añadiendo datos diferenciales), posición EGNOS (basándose en SBAS) y posición

GBAS. De ellos se ha empleado la solución de la posición EGNOS, con los datos obtenidos de observación y navegación en formato RINEX.

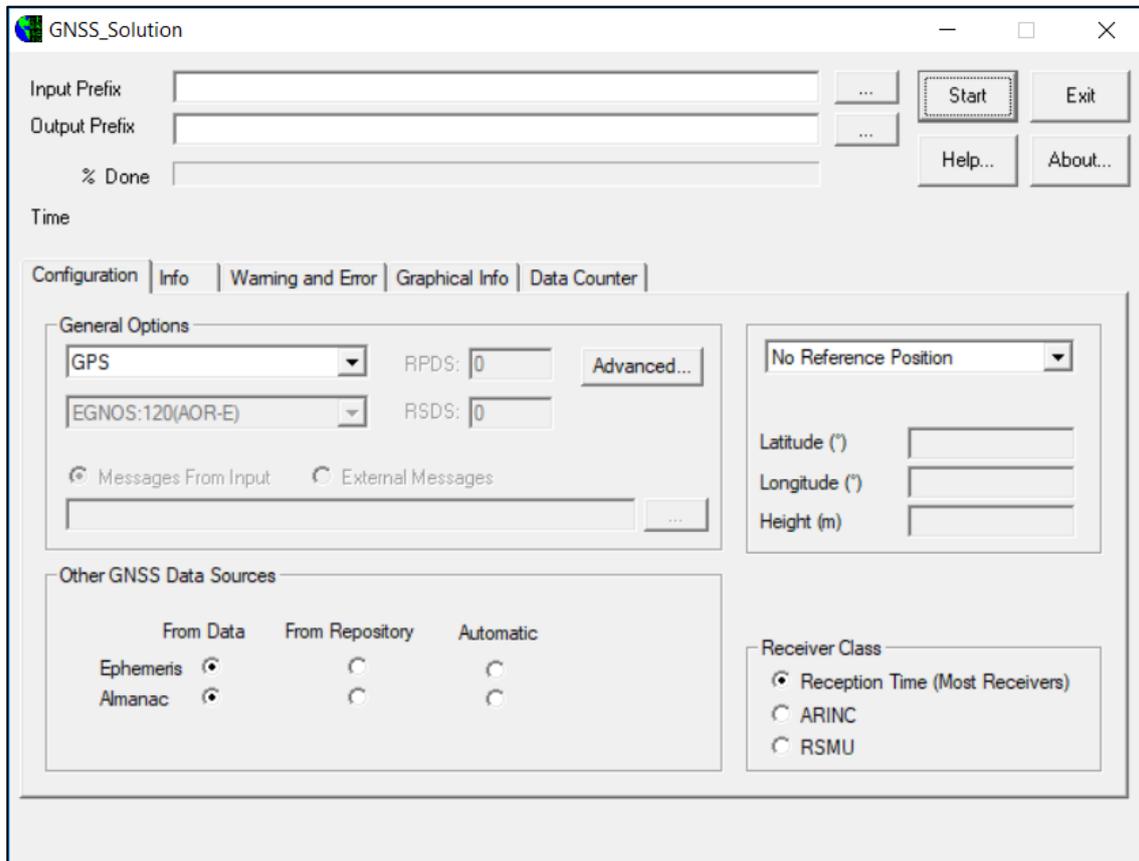


Figura 10.10: Interfaz del módulo GNSS Solution del software PEGASUS.

En la Figura 10.10 podemos ver la interfaz del módulo GNSS Solution. Los campos que debemos rellenar para obtener resultados válidos son en “General Options” marcar SBAS e introducir la Posición de Referencia de nuestra estación (Latitud 38.3389°, Longitud -0.4812330° y 60.356 m de Altura). En “Advanced” marcaremos Ignore Almanac

A su vez, es necesario introducir una serie de archivos para conseguir hacer funcionar el módulo: archivos de los mensajes SBAS (con extensión .sxx con XX denominando el tipo de mensaje SBAS), archivo de dominio-rangos (con extensión .rng y derivado de los ficheros de observación y navegación), archivo de almanques (de extensión .alm) y archivo de datos ephemeris (cuya extensión se compone de dos dígitos que referencian al año y, habitualmente, una H, quedando .xxH).

Como resultado de la ejecución del módulo, se genera un archivo .sol en el cual figuraran todos los datos necesarios para la representación gráfica posterior que nos ayude al análisis del sistema a través de los requerimientos del mismo.

Es importante mencionar que la raíz del archivo no puede contener caracteres especiales para que el funcionamiento de GNSS Solution sea correcto (no espacios, no acentos...)

### 10.6.3. MFile Runner

Por último, se hará uso del módulo MFile Runner, módulo destinado a la visualización de resultados de manera gráfica a partir de scripts de MATLAB (el cual no es requisito tener instalado pues se incluye lo necesario en el software).

Este módulo ofrece una interfaz muy sencilla, con la que sólo es necesario seleccionar los diferentes datos que el usuario desea estudiar y se generan así los archivos necesarios para poder visualizarlos. Como se ve en la Figura 10.11, tenemos dos pestañas. La primera (pestaña "Options"), es donde se introducen los ficheros input que se quieren utilizar para el análisis (con extensión .sol, el que nos da el módulo GNSS Solution). A continuación, se selecciona las diferentes acciones a realizar y se pasan de izquierda a derecha, ejecutando al concluir esta tarea. Se abrirá entonces la pestaña "Log", en la que se muestra el desarrollo de la actividad, si ha sufrido algún error o fallo en la creación de los ficheros finales.

De las posibilidades que MFile Runner nos ofrece, se han utilizado las siguientes:

- Análisis SBAS: es la función de análisis más general de todas para datos SBAS/GPS. Crea un archivo .xml que contiene gran cantidad de datos, a destacar datos estadísticos de error como HPE y VPE, datos de calidad, HPL y VPL (niveles de protección) discontinuidades, diferentes análisis para los requerimientos y los diferentes procedimientos establecidos, histogramas de diferentes datos para APV-I y LPV-200 y los más importante para el desarrollo del trabajo, diagramas Stanford horizontal y vertical con los que poder analizar si se cumplen los requerimientos del sistema SBAS.
- Análisis de posición: obteniendo un fichero como el descrito previamente.
- Análisis de precisión: en este caso se generan dos archivos de extensión .xml, correspondiéndose con las componentes horizontal y vertical, donde ver la precisión en cada una de ellas.
- Análisis de integridad: de nuevo dos archivos (siguiendo las directrices anteriores) con datos estadísticos de HSI y VSI para diferentes procedimientos.

Todos estos datos son los estudiados en el apartado 11.

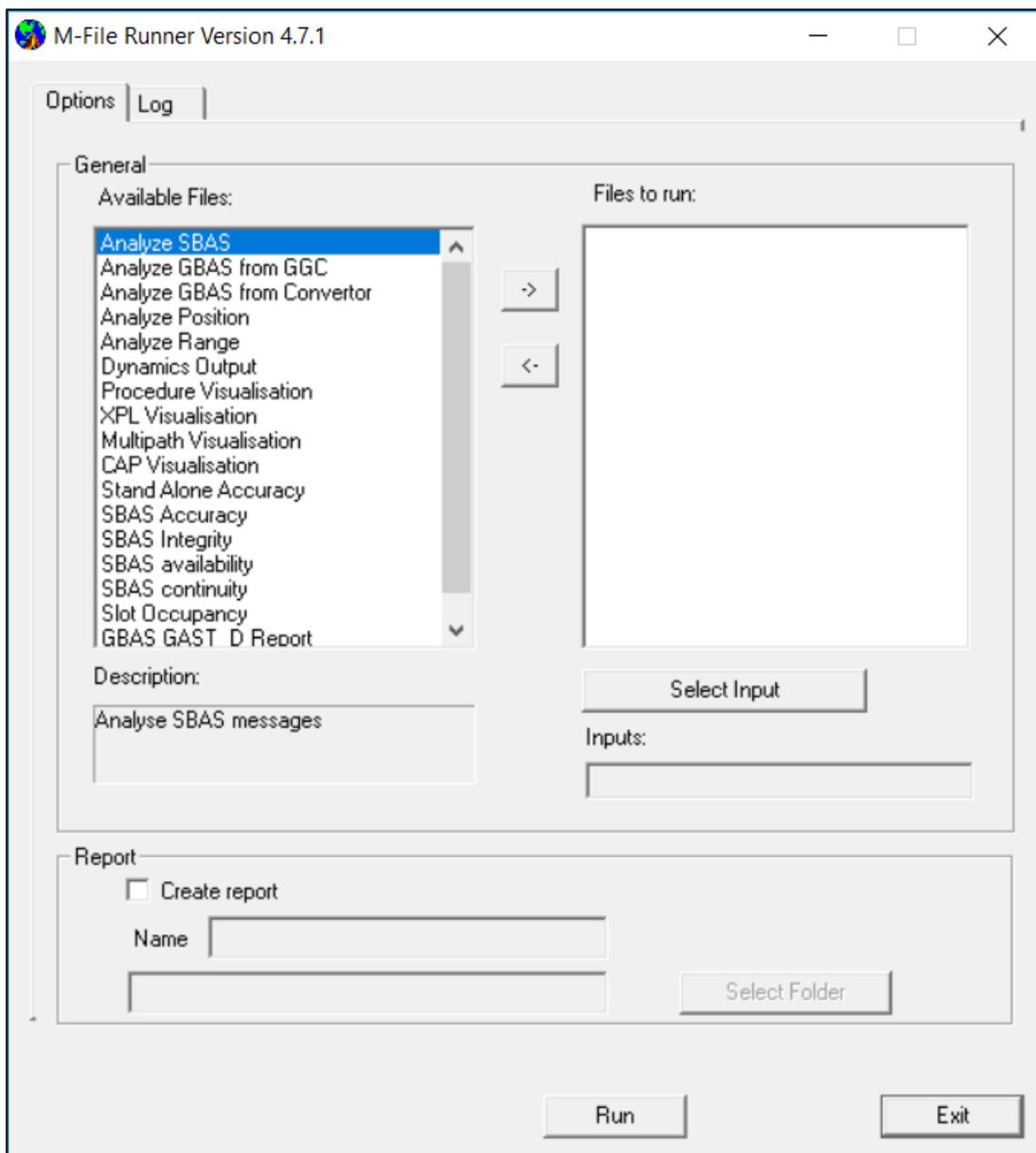


Figura 10.11: Interfaz del módulo MFile Runner del software PEGASUS.

#### 10.6.4. Uso PEGASUS

Puesto que PEGASUS resultaba una herramienta de primer uso al inicio de la realización del presente trabajo, se realizaron los tutoriales preparados por EUROCONTROL para GBAS, con el ánimo de poder después asociar los conocimientos adquiridos al procedimiento de análisis de SBAS. Estos tutoriales se componen de 8 *Scenarios* diferentes, en el que cada uno de ellos busca trabajar un aspecto diferente. Resultaba mucho más interesante desde el punto de vista del usuario realizar estos

tutoriales que utilizar el Software User Manual, el cual se ha consultado, pero no ha sido la base de aprendizaje. Los 8 *Scenarios* mencionados son:

- Scenario\_001: Simulación de mensajes GBAS basada en GNSS.
- Scenario\_002: Solución de posición GBAS.
- Scenario\_003: Utilización de datos externos para la computación de la posición estática de un GBAS.
- Scenario\_004: Análisis de datos simulados.
- Scenario\_005: Manipulación de mensajes GBAS.
- Scenario\_006: Simulación basada en el contexto.
- Scenario\_007: Simulación de mensajes y error de posición GBAS.
- Scenario\_008: Errores de trayectoria dinámica.

Muchos de los *Scenarios* daban problemas al ejecutarlos y por este motivo no se han realizado en profundidad la mayoría de ellos. Para este trabajo eran de gran interés los *Scenarios* número 1, 2 y 7, al trabajar entre todos ellos los diferentes módulos descritos y utilizados (Convertor, GNSS Solution y MFile Runner).

Pese a todo, la familiarización con el software ha ido creciendo según se trataba de resolver los problemas, dando lugar a un conocimiento básico suficiente para el posterior uso con datos propios.

# 11. Validación de procedimiento

## PBN

Una vez se han obtenido los datos de la evaluación GNSS de Largo Plazo, puesto que estos son válidos, se procede a la validación de los datos tomados en el lugar que se desea certificar. Tras todo el tratamiento de datos necesario y el uso de PEGASUS de acuerdo con lo expuesto en el apartado 10.6, se analiza el rendimiento mostrado por las prestaciones de precisión, disponibilidad, integridad y continuidad. A su vez, se realizará una comparación con lo mínimos establecidos por OACI para un sistema de aproximación con guiado vertical LVP-200.

### 11.1. Precisión

A continuación, se muestran los resultados referidos a la precisión obtenidos de la simulación. Se observa el análisis desde el día 1 de agosto hasta el día 5 del mismo mes, del año 2017. Los datos son aquellos que muestran el HNSE y el VNSE.

1 de agosto de 2017

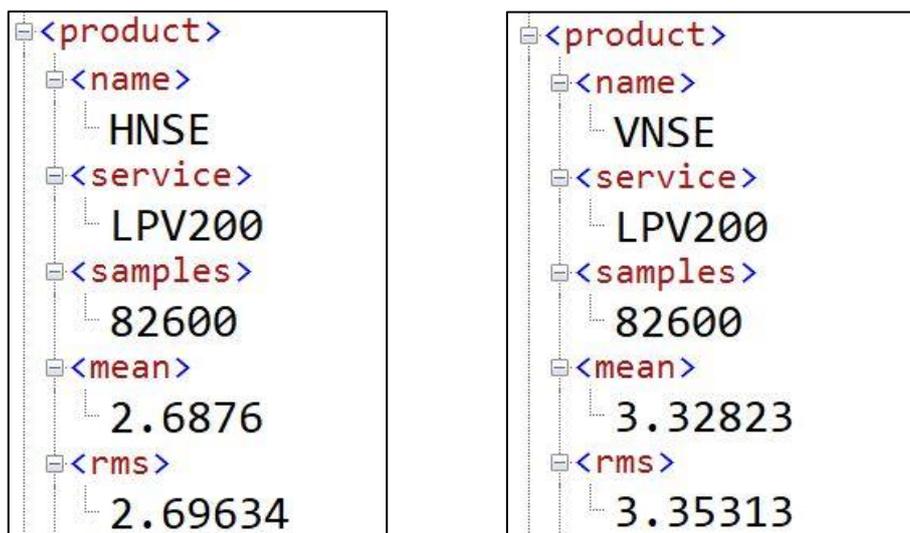


Figura 11.1: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 213.

Se puede observar en la Figura 11.1 como ambos valores son menores a los establecidos por la OACI. En caso de HNSE, presenta un valor inferior a 3m, siendo el mínimo establecido 16m. Para el vertical es más justo pues se dicta que sea inferior a 4-6m y el valor obtenido es de 3.3m aproximadamente, valor que sigue siendo apto.

Para poder realizar un análisis más completo, se ha decidido incluir los histogramas de los valores de los errores de posición tanto vertical como horizontal (del inglés VPE y HPE). Se pone atención al percentil 95 de ellos, siendo de 4.01m para el vertical y 3.03m para el horizontal, ambos dentro de los límites establecidos por OACI.

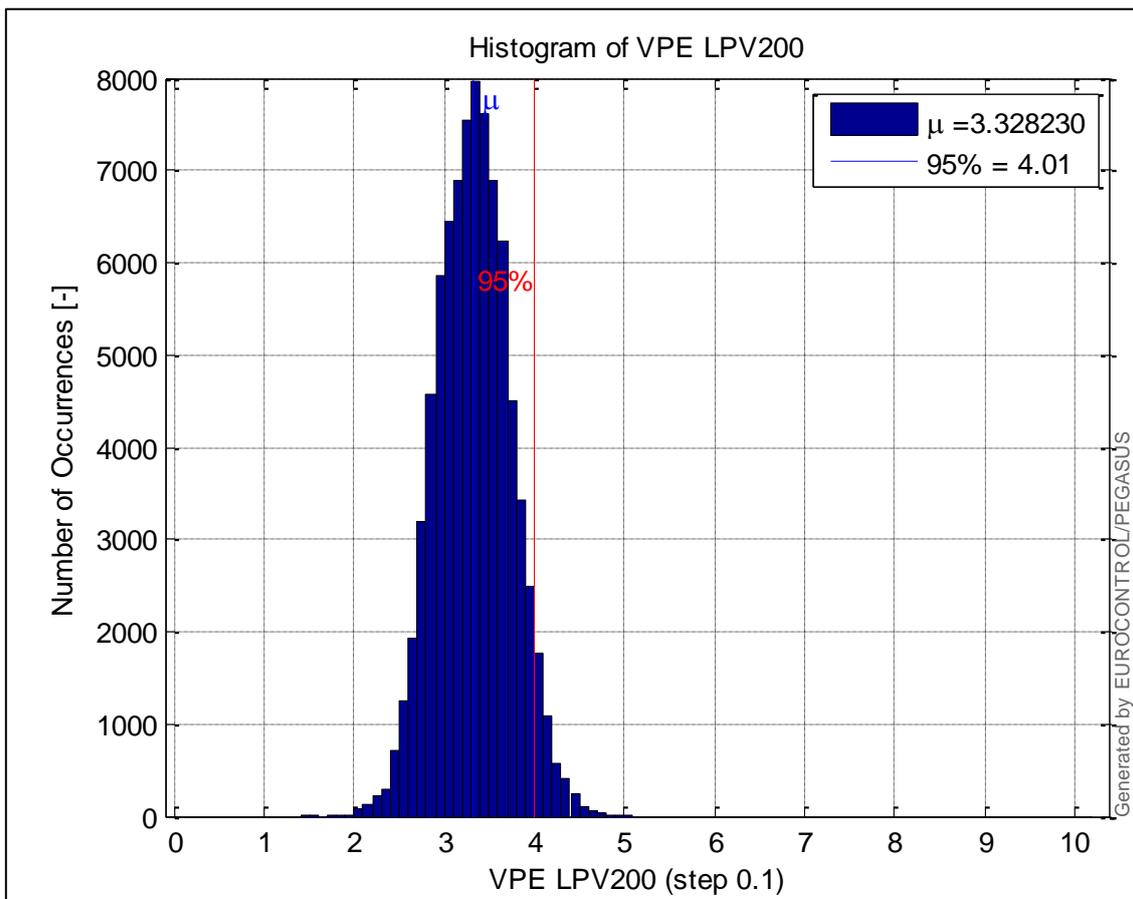


Figura 11.2: Histograma de VPE del día 213.

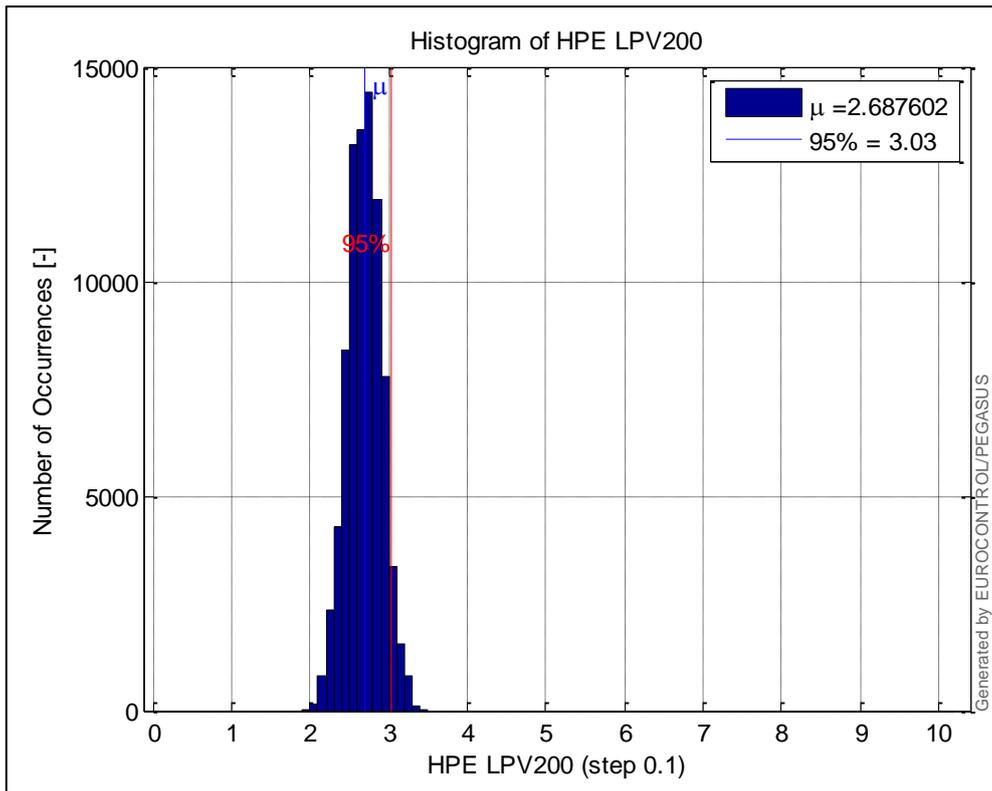


Figura 11.3: Histograma de HPE del día 213.

2 de agosto de 2017

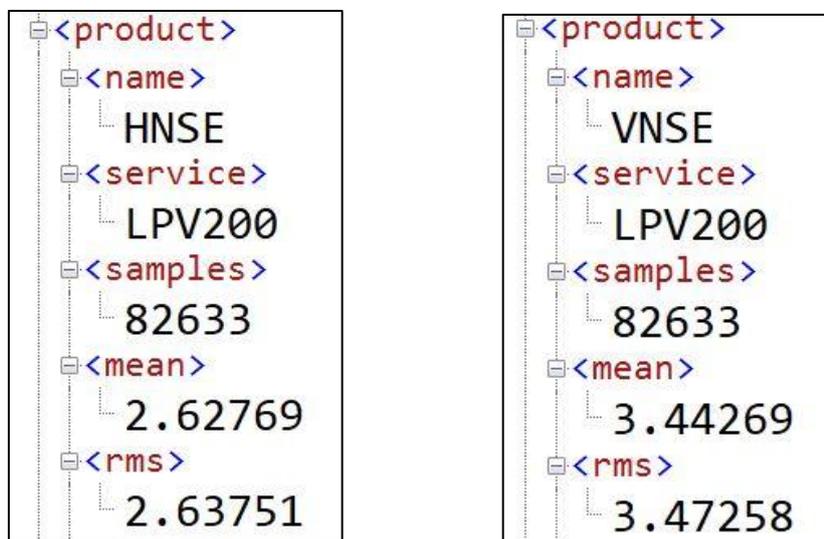


Figura 11.4: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 214.

En la Figura 11.4 observamos que, para el segundo día, de nuevo, se cumplen los límites con valores de HNSE de 2.62m y VNSE de 3.44m. Los histogramas de VPE y HPE

presentan percentil 95 de 4.17m y 3.01m respectivamente, lo que supone que se cumplen todos los mínimos para LPV-200.

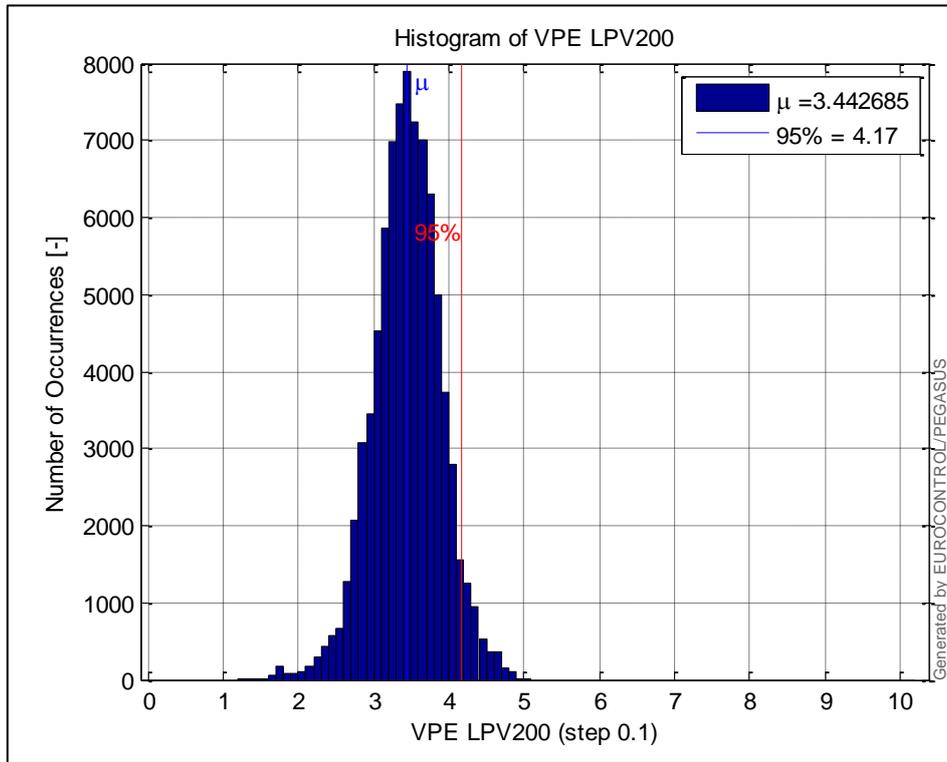


Figura 11.5: Histograma de VPE del día 214.

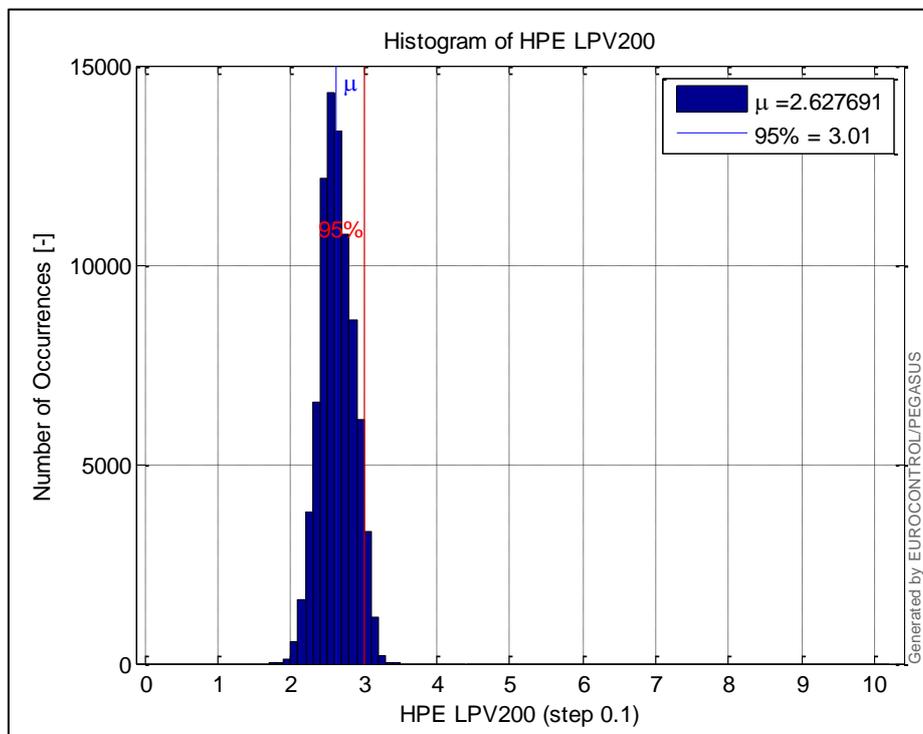


Figura 11.6: Histograma de HPE del día 214.

3 de agosto de 2017

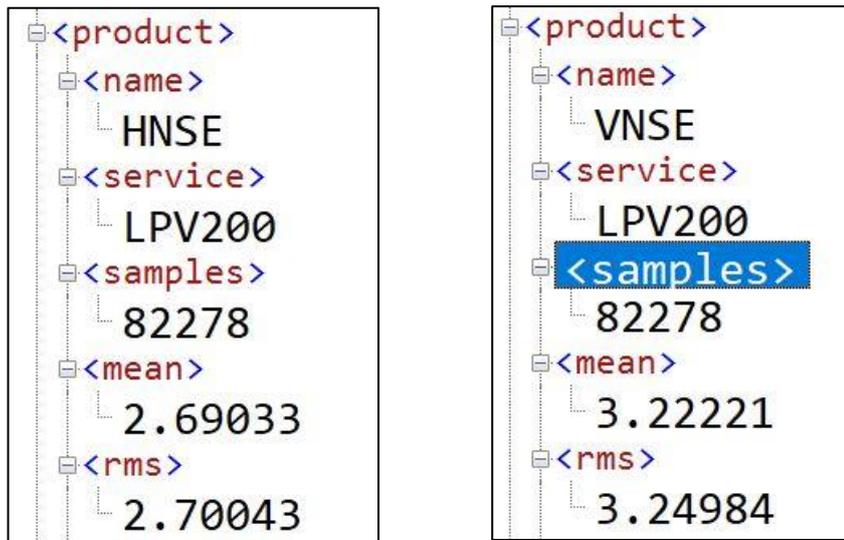


Figura 11.7: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 215.

En la Figura 11.5 observamos de nuevo el cumplimiento de los mínimos para operaciones LPV-200, con un HNSE de 2.69m y un VNSE de 3.22m. En el caso de los histogramas encontramos que el VPE vale 3.91m y el HPE 3.09m. Se cumplen así los requisitos para el sistema de estudio.

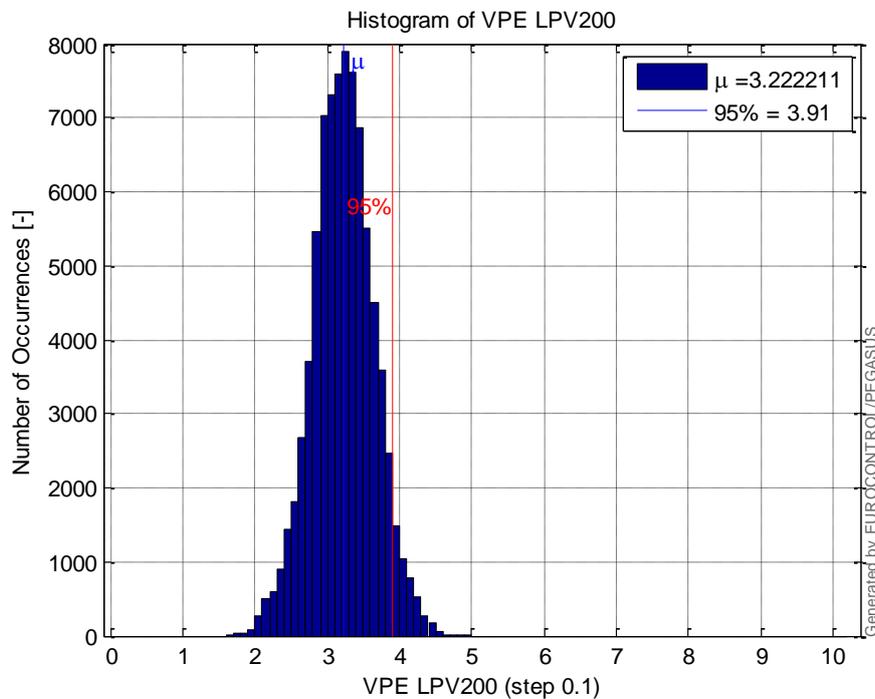


Figura 11.8: Histograma de VPE del día 215.

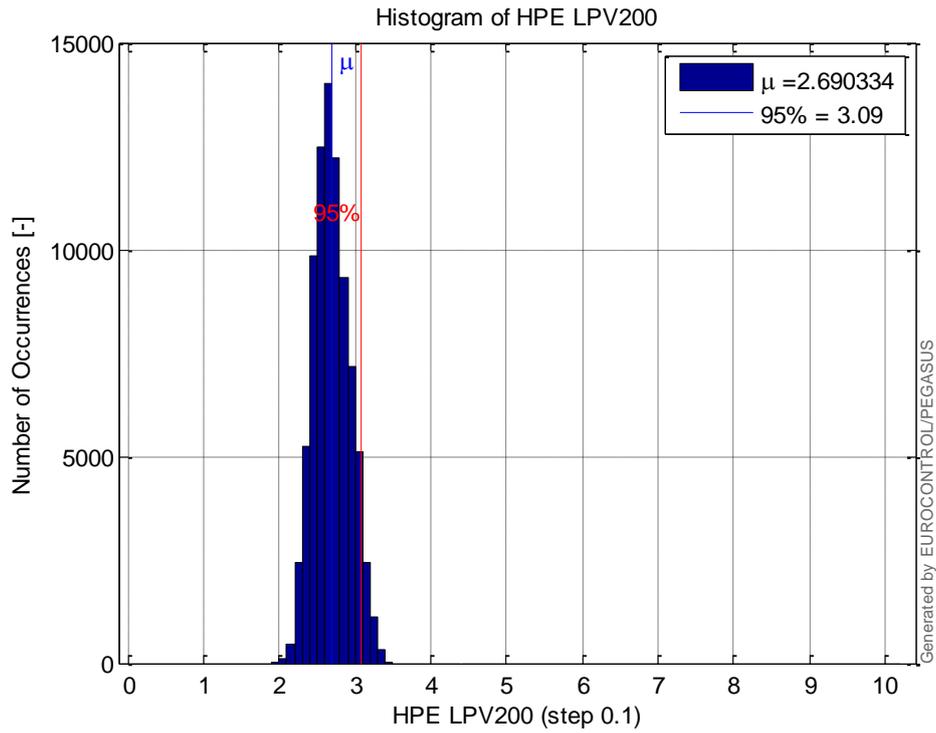


Figura 11.9: Histograma de HPE del día 215.

4 de agosto de 2017

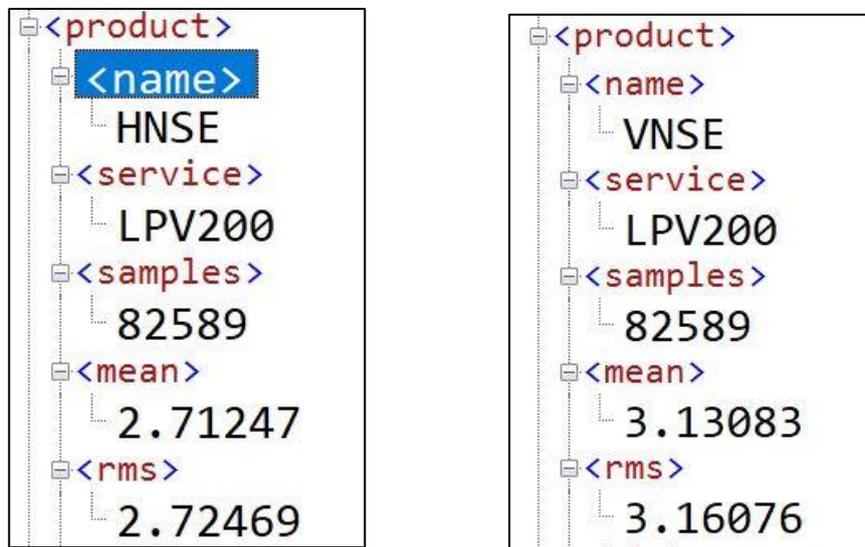


Figura 11.10: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 216.

De nuevo podemos observar en las Figuras 11.10,11 y 12 que el cuarto día de estudio cumple con los mínimos establecidos por OACI. Esto lo hace con unos valores

de HNSE de 2.7m, VNSE de 3.13m, VPE de 3.81m y HPE de 3.15 m, haciendo válido el proceso en el día 216.

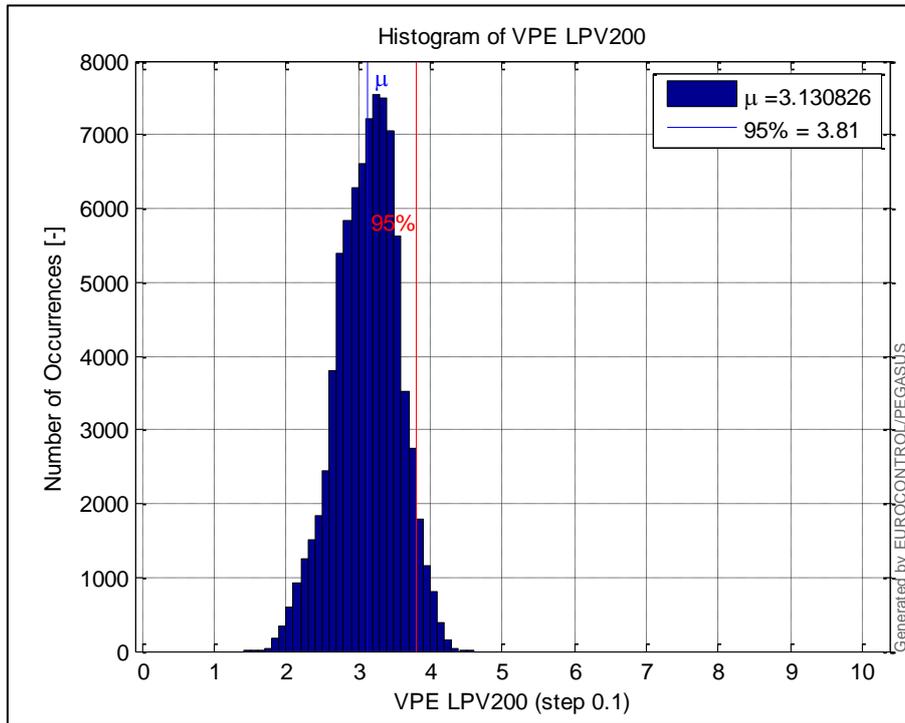


Figura 11.11: Histograma de VPE del día 216.

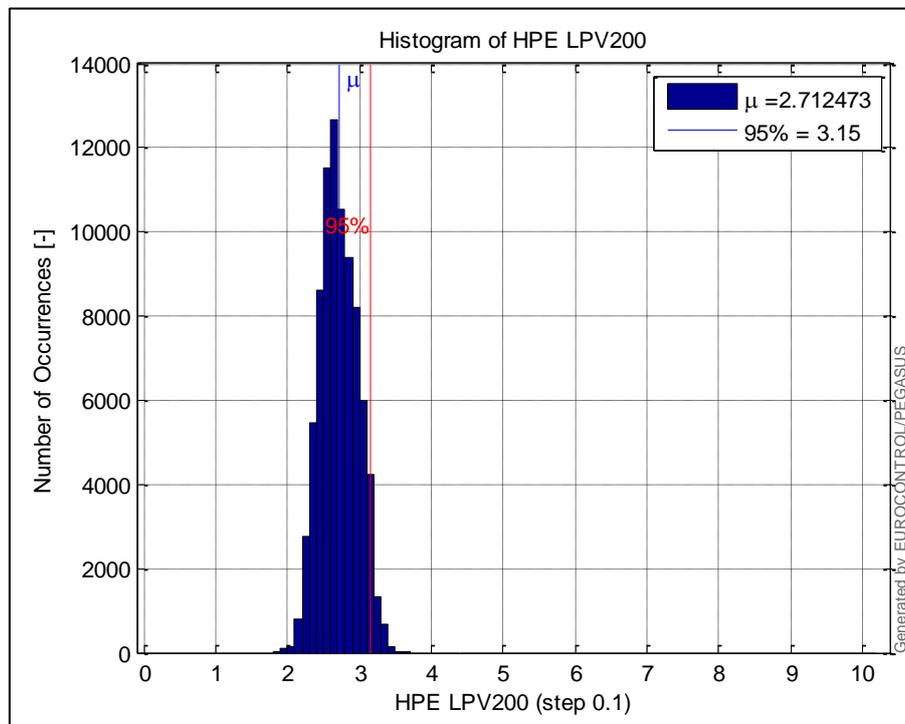


Figura 11.12: Histograma de HPE del día 216.

5 de agosto de 2017

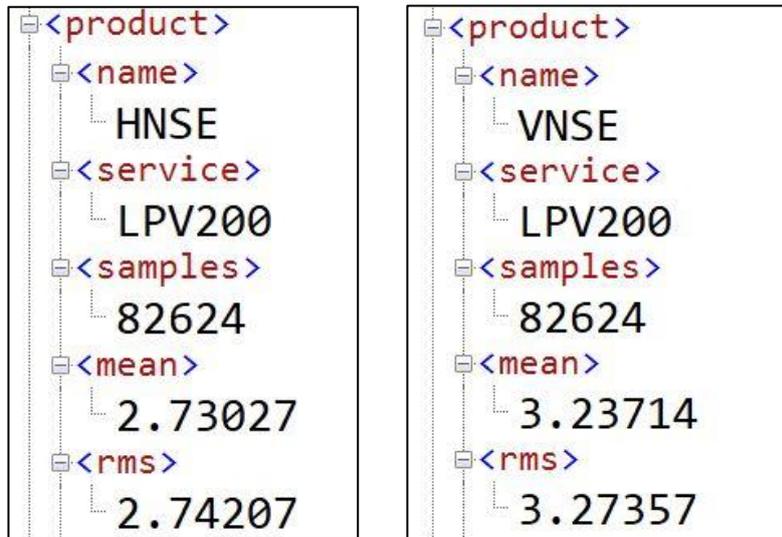


Figura 11.13: Resultados de HNSE y VNSE para LPV-200 en día 217.

El último día de estudio presenta datos similares a sus antecesores. Para HNSE y VNSE los valores son 2.73 y 3.23 respectivamente. De los histogramas no se puede decir nada diferente, pues siguen siendo inferiores a los mínimos con valores de 4.08m para el VPE y 3.16m para el HPE. Se cumple así que la precisión supero los requerimientos establecidos para aproximaciones LPV-200.

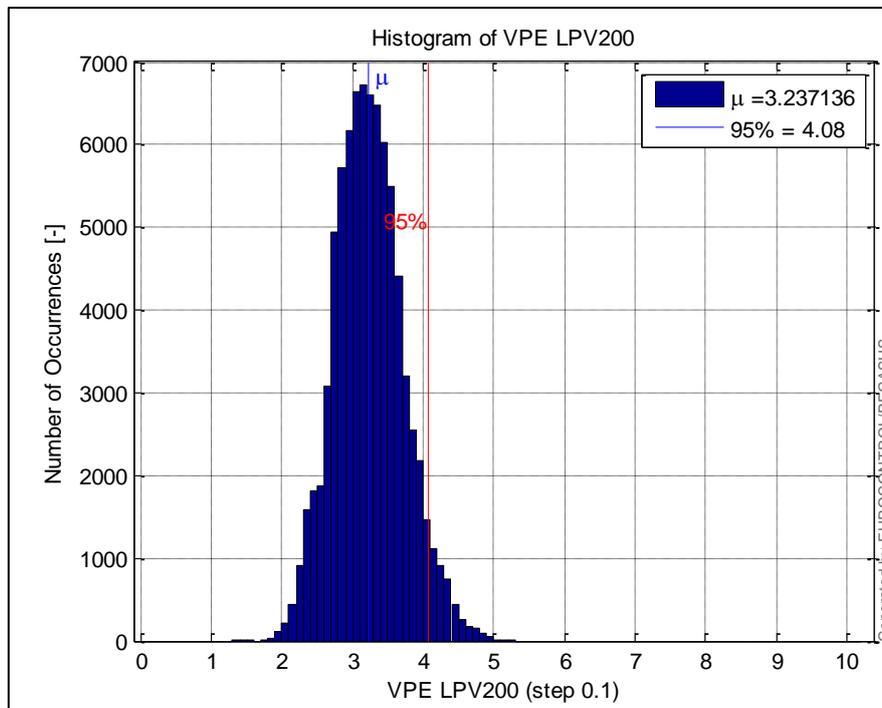


Figura 11.14: Histograma de VPE del día 217.

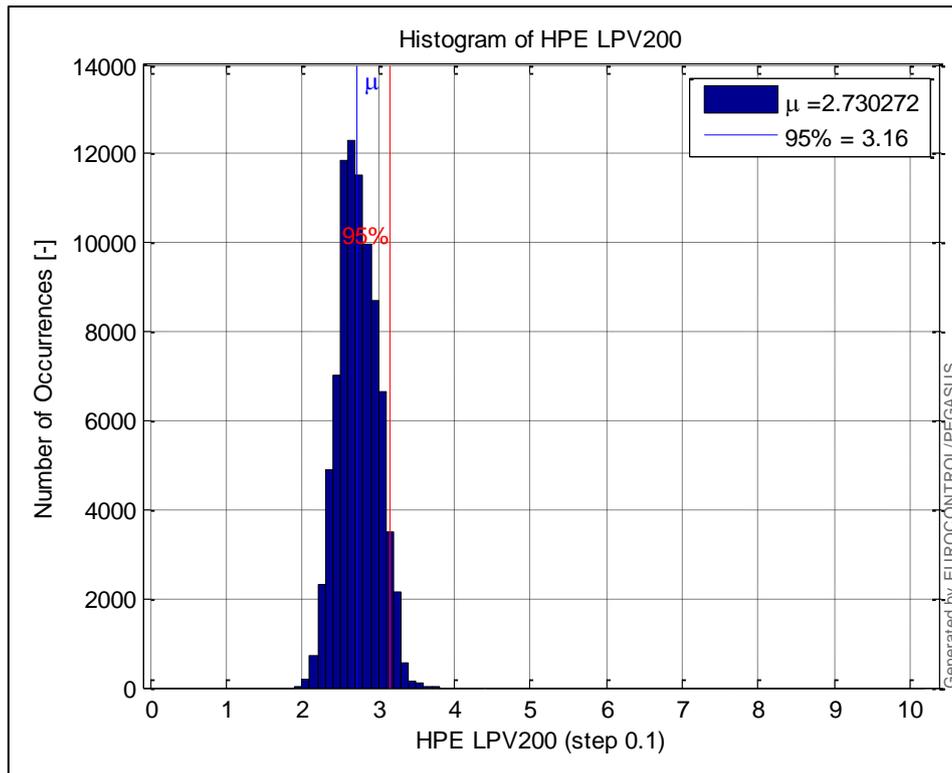


Figura 11.15: Histograma de HPE del día 217.

## 11.2. Disponibilidad

El segundo apartado a analizar es el de la disponibilidad. Durante el transcurso del análisis, PEGASUS dio infinidad de problemas con la ejecución de esta orden. Tras intentar diferentes soluciones (desde la reinstalación, actualización de componentes e incluso acceso desde la ventana de comando), no hubo forma de conseguir hacer que PEGASUS sacase los resultados para cada día como sí había hecho con precisión e integridad.

Teniendo esta disyuntiva frente a nosotros, se optó por tomar los datos del portal de EGNOS User Support, donde podemos obtener mapas de color de cada uno de los días para toda Europa y ver si los datos en nuestra base son los adecuados. Se pierde parte del análisis en detalle, pero se puede extrapolar un resultado final de certificación, salvando así el obstáculo impuesto por el software PEGASUS.

1 de agosto de 2017

Se he tomado el mapa de color de combinación PRN 120 y PRN 123, resultando el más veraz pues se busca redundancia con los GEO y por ello el estudio se hace siempre con el resultado combinatorio de la disponibilidad de ambos.

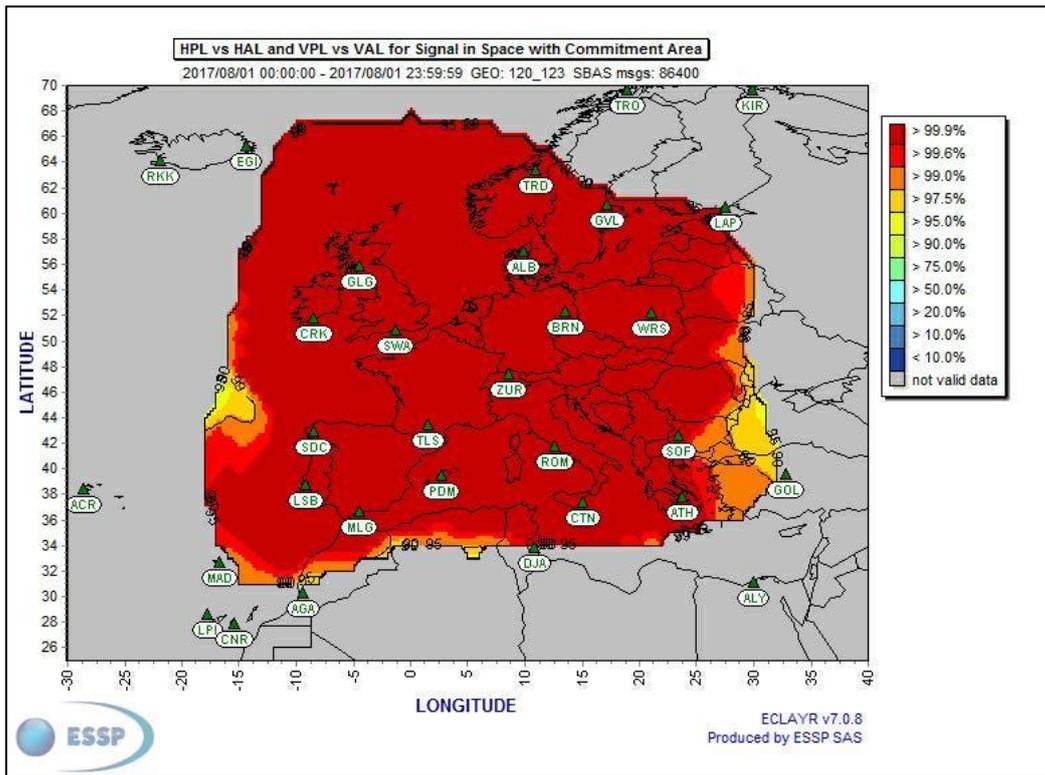


Figura 11.16: Mapa de color de Disponibilidad del día 213.

2 de agosto de 2017

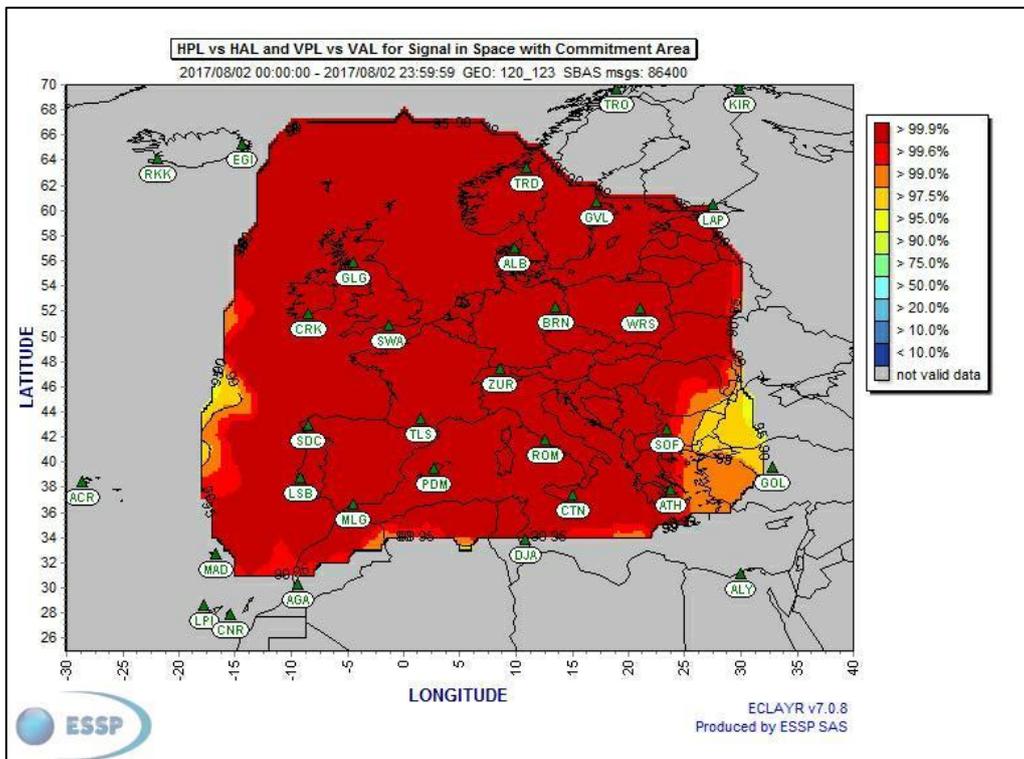


Figura 11.17: Mapa de color de Disponibilidad del día 214.

3 de agosto de 2017

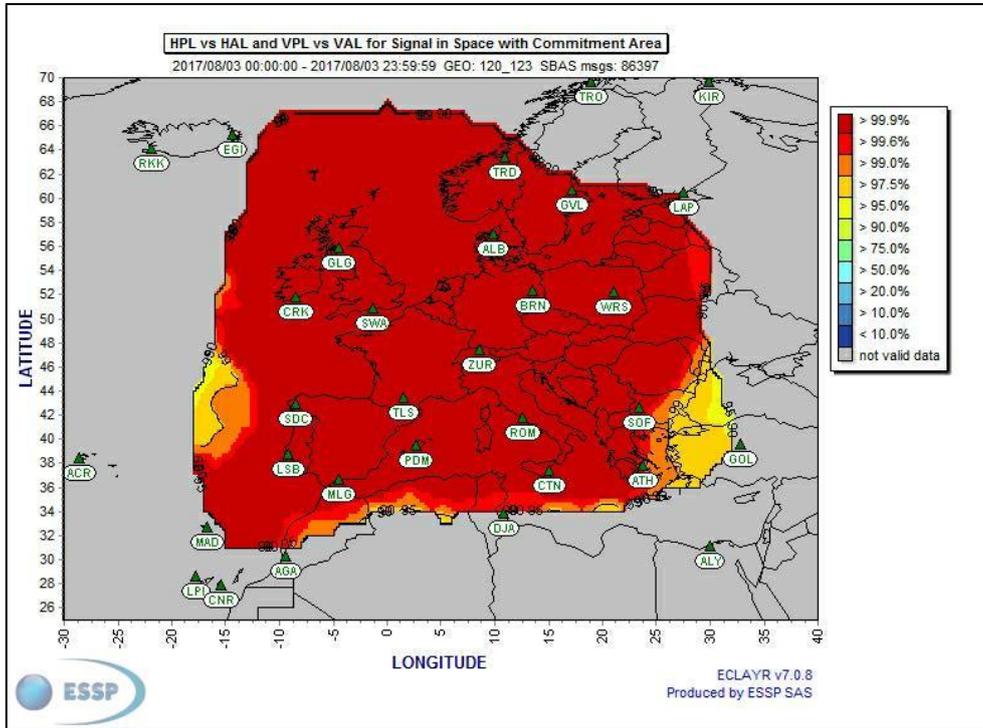


Figura 11.18: Mapa de color de Disponibilidad del día 215.

4 de agosto de 2017

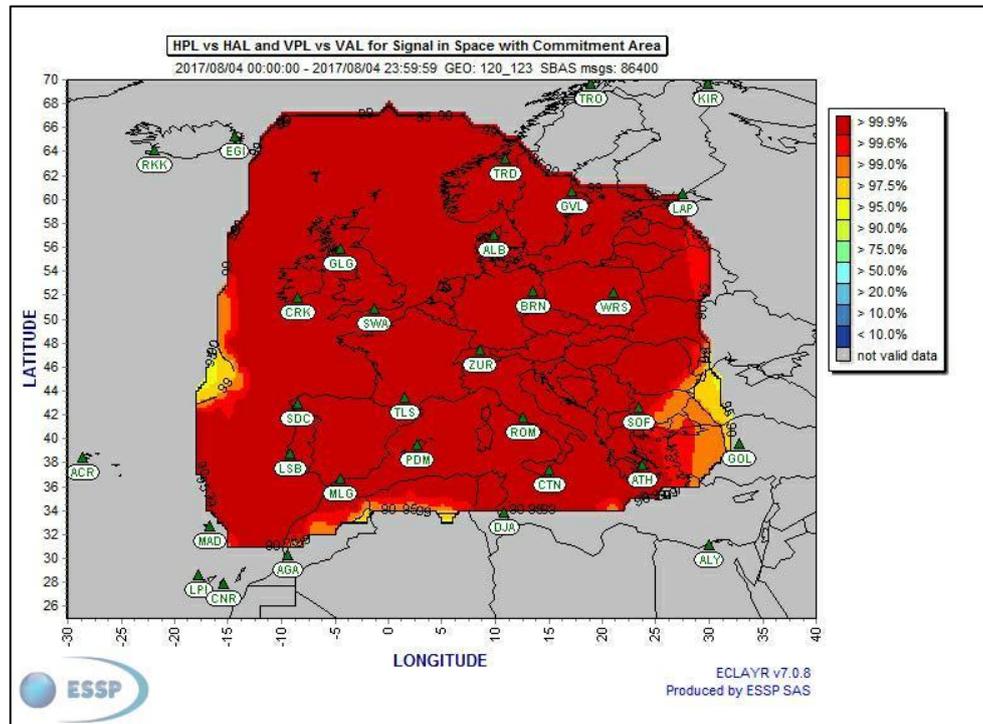


Figura 11.19: Mapa de color de Disponibilidad del día 216.

5 de agosto de 2017

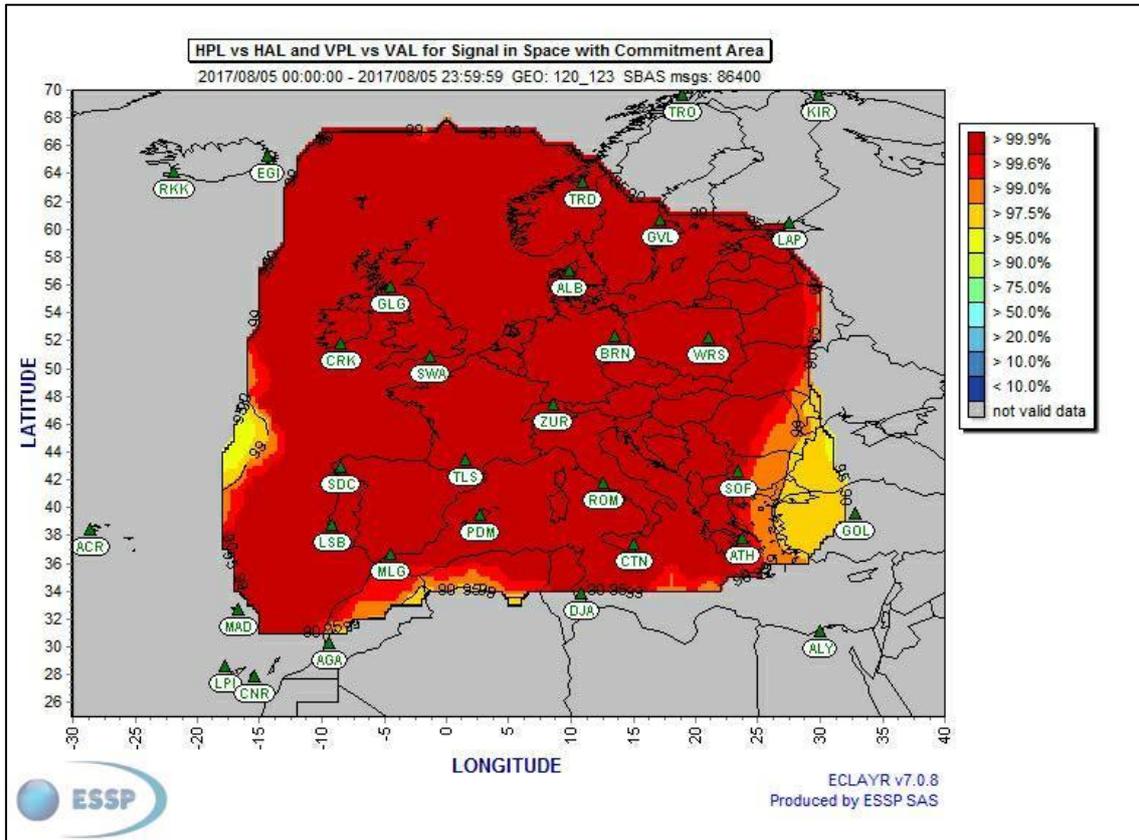


Figura 11.20: Mapa de color de Disponibilidad del día 217.

Como se puede observar de las figuras 11.16,17,18,19 y 11.20, la disponibilidad en las coordenadas de la base de Alicante permanece en el rojo más oscuro posible para los 5 días de estudio.

Esto implica que se tiene una disponibilidad superior al 99.9% en todo momento, cumpliendo así lo establecido por la OACI. Esta dicta que se ha de poder superar una disponibilidad del 99%, valor que siempre aparece lejos de Alicante.

Se encontrará un procedimiento similar para la continuidad, pues PEGASUS no funciona de igual manera que para la disponibilidad.

### 11.3. Integridad

A continuación, se va a analizar los resultados obtenidos del análisis para el requerimiento de Integridad. Se agruparán las Figuras por días de estudio, empleando un total de 6 Figuras por día. Estas contemplan diferentes datos estadísticos, pero el más importante de todos es el que muestra HPE vs HPL, explicado en el apartado 4.3: el diagrama de Stanford.

Se mostrarán las Figuras tanto para la componente horizontal como la vertical, de ahí el elevado número de figuras por día de estudio. A parte del diagrama de Stanford, se muestran los Histogramas de HSI y VSI, cuyos valores de percentil deben de ser menor a 1 como se ha explicado en anteriores apartados y gráficas comparativas del valor de HPE/VPE y HPL/VPL, con los que ver si se ha dado algún caso de MI/HMI (lo cual haría que la integridad no fuese apta).

Para la integridad, se realizará un estudio general tras la muestra de los diferentes diagramas de cada uno de los días de estudio, buscando así extraer los datos del conjunto del análisis.

*1 de agosto de 2017*

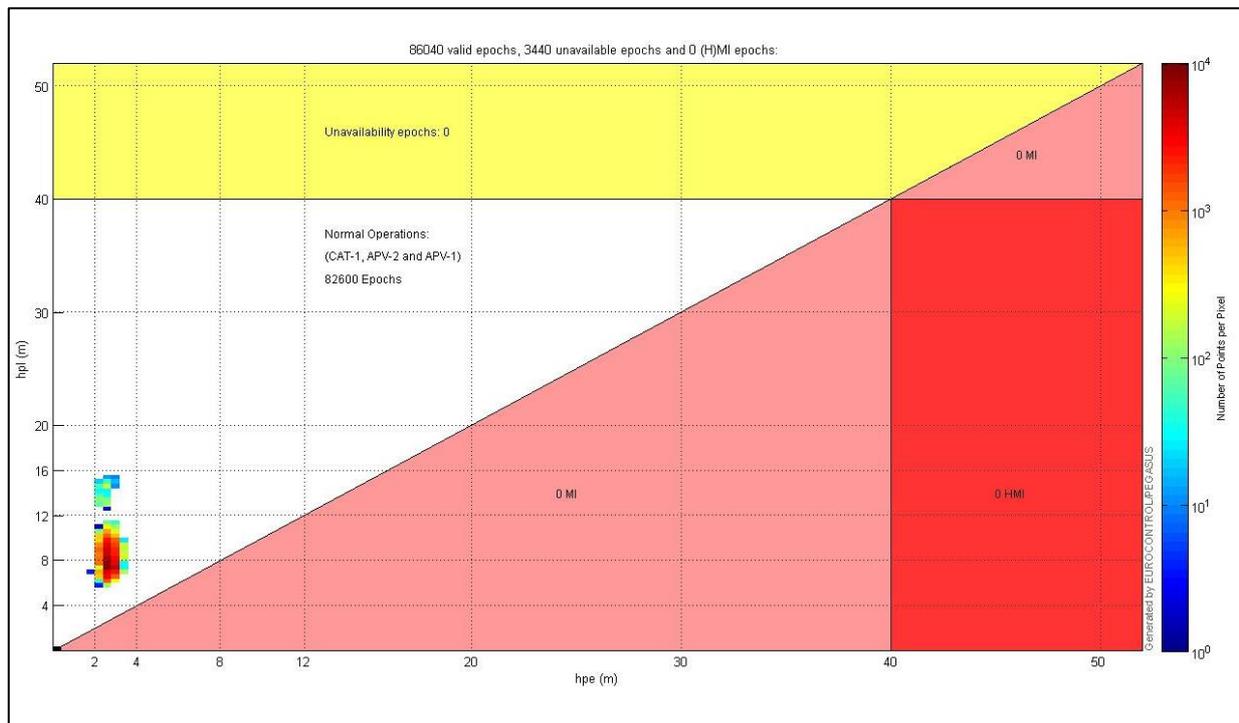


Figura 11.21: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 213.

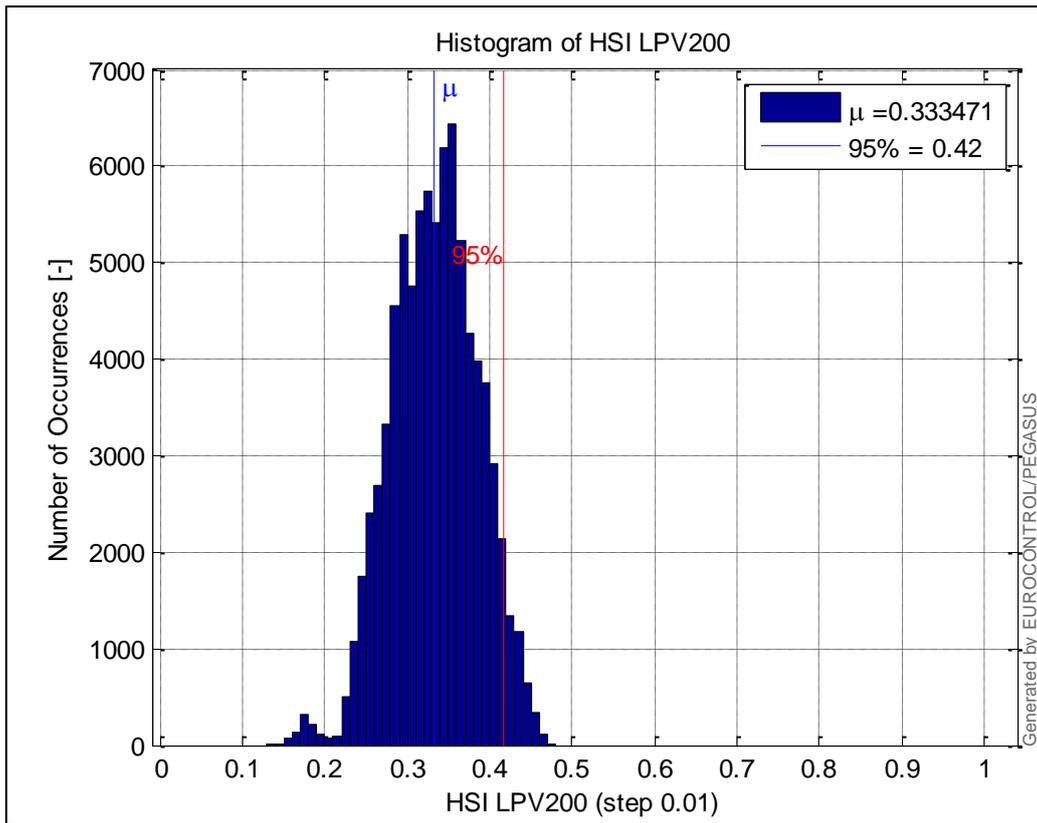


Figura 11.22: Histograma HSI del día 213.

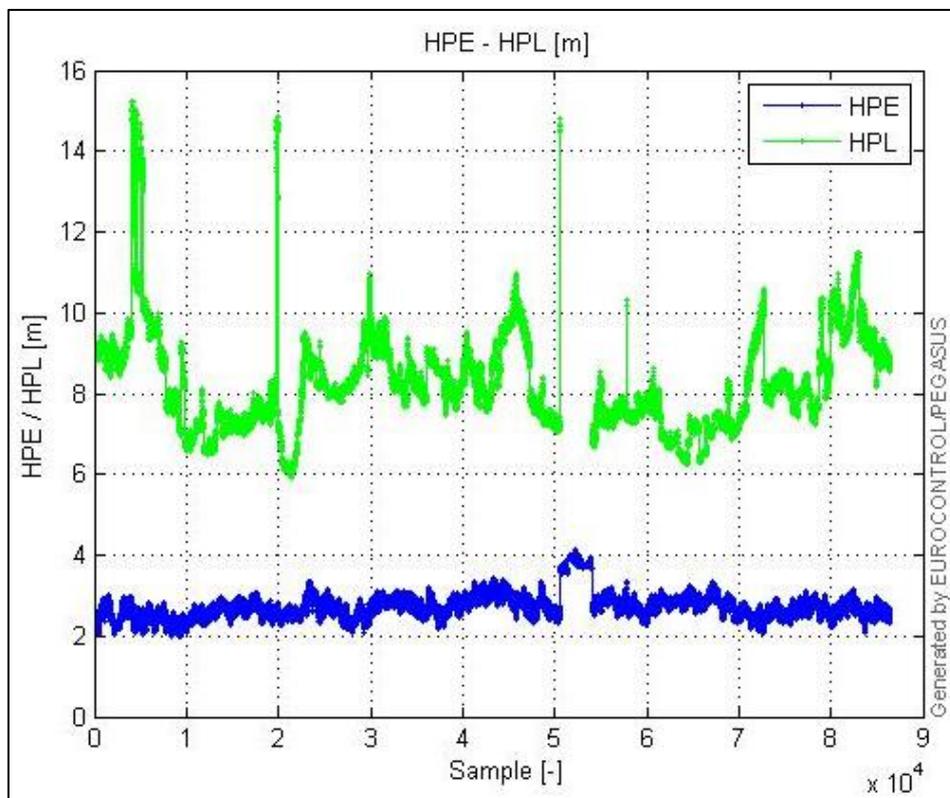


Figura 11.23: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 213.

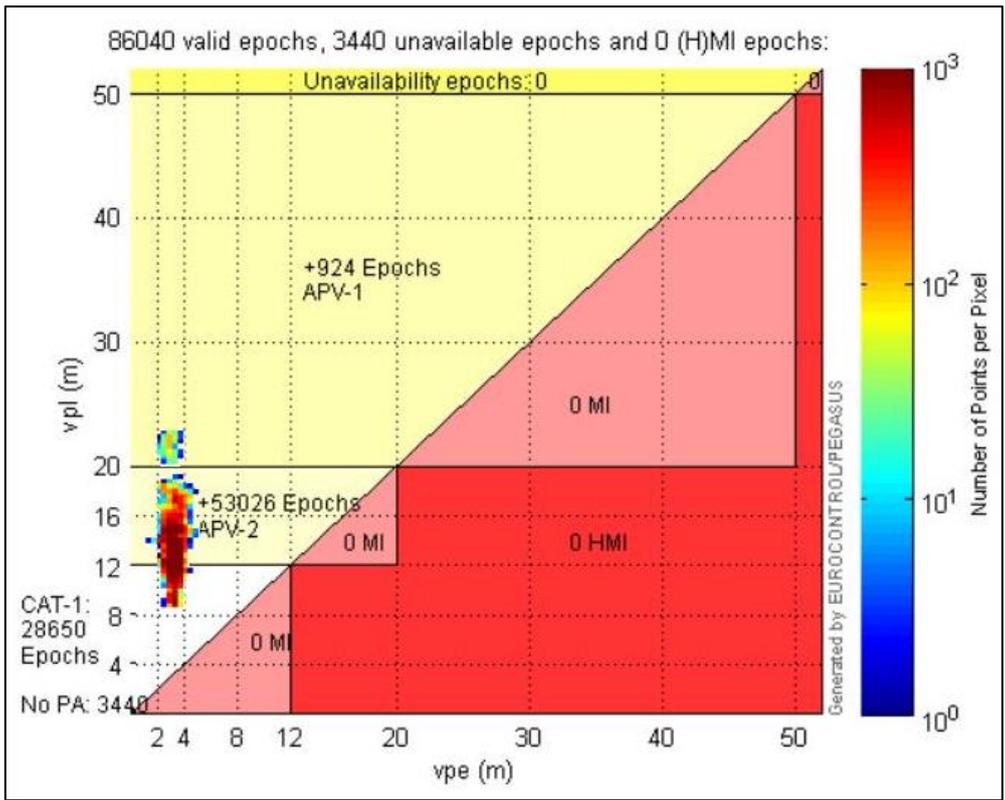


Figura 11.24: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 213.

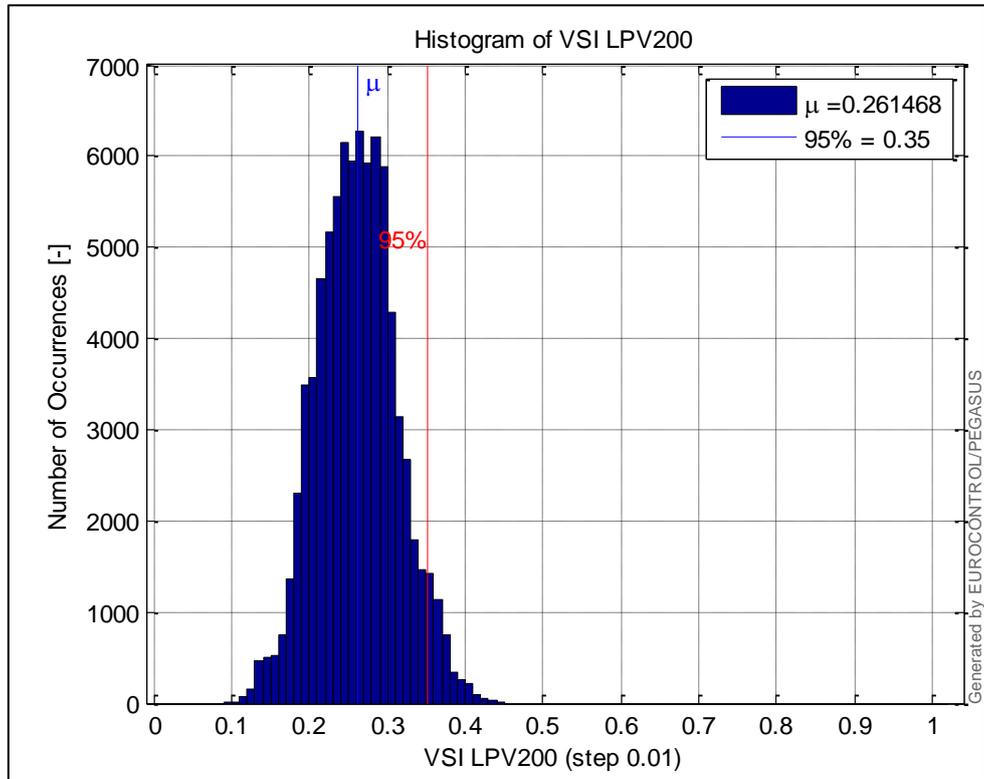


Figura 11.25: Histograma VSI del día 213.

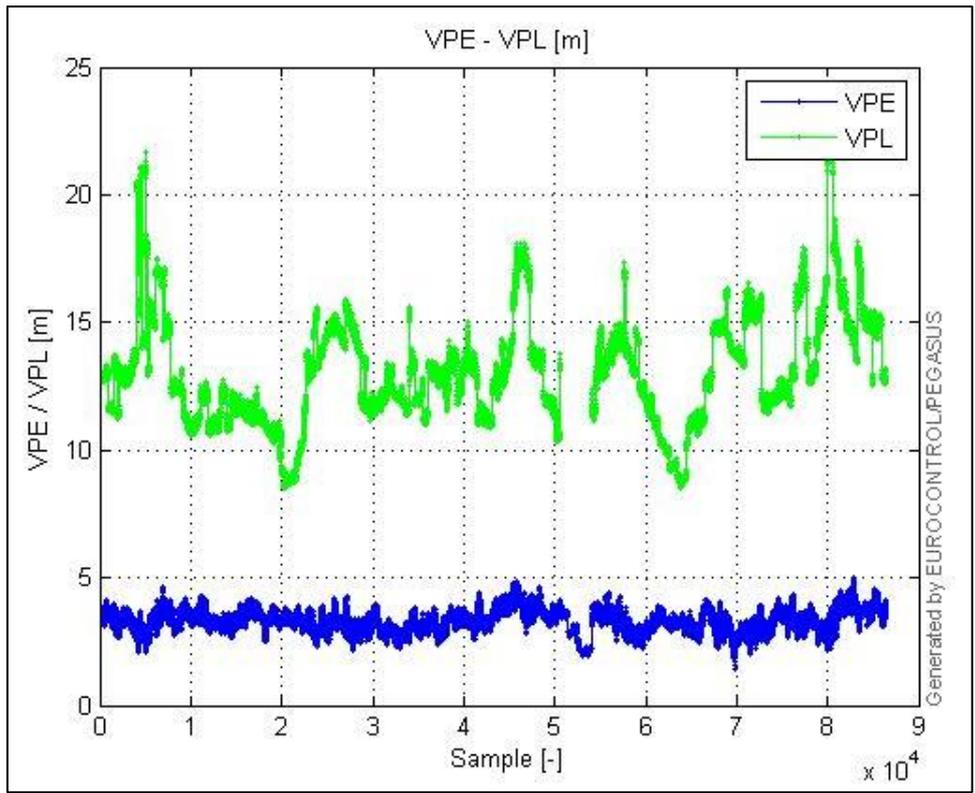


Figura 11.26: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 213.

2 de agosto de 2017

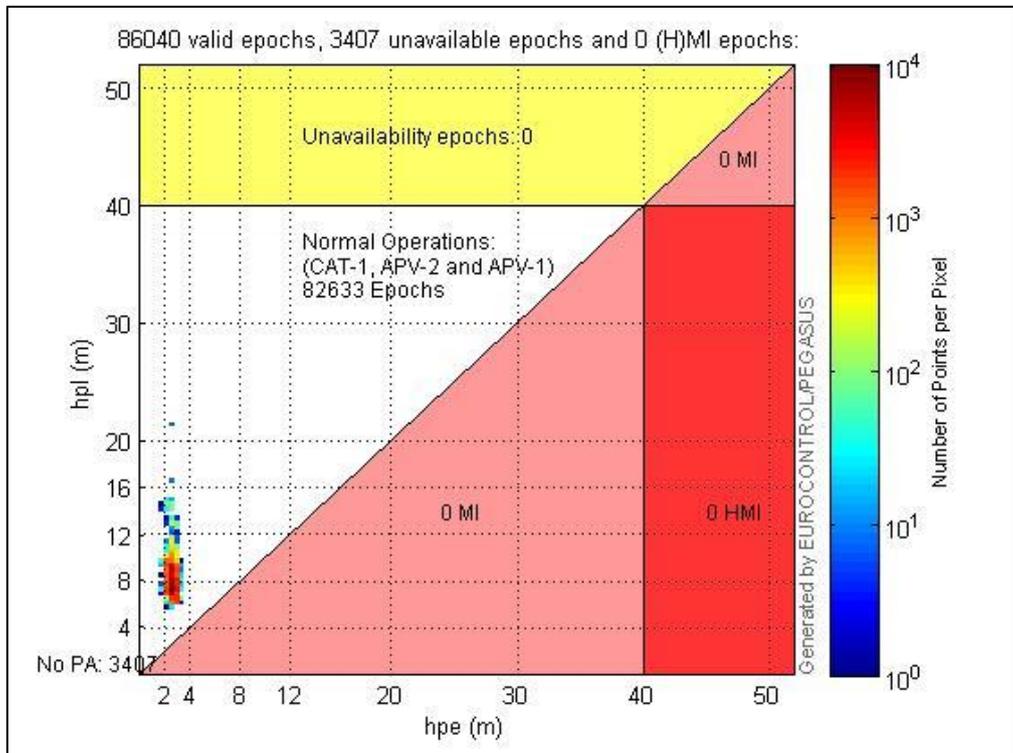


Figura 11.27: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 214.

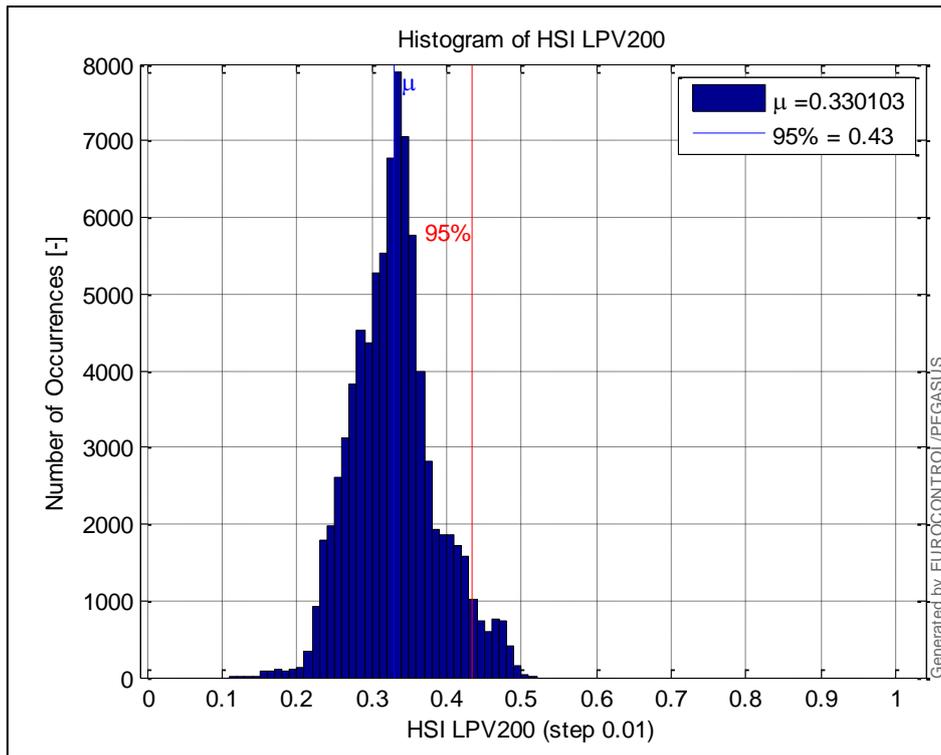


Figura 11.28: Histograma HSI del día 214.

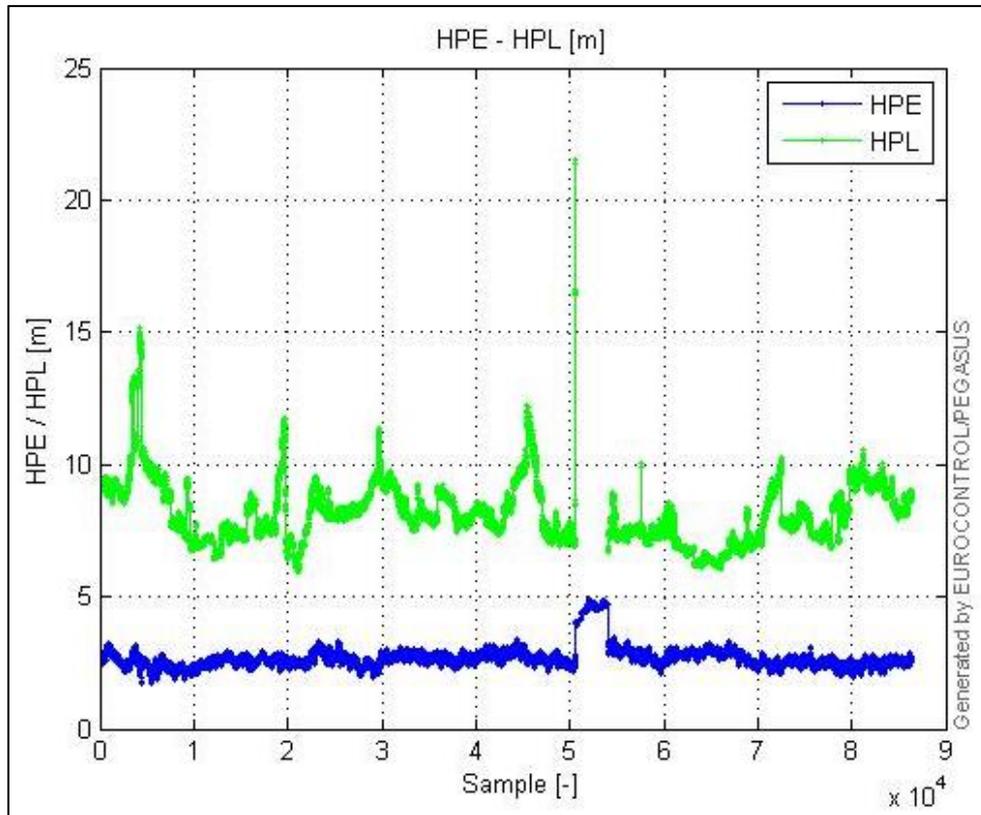


Figura 11.29: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 214.

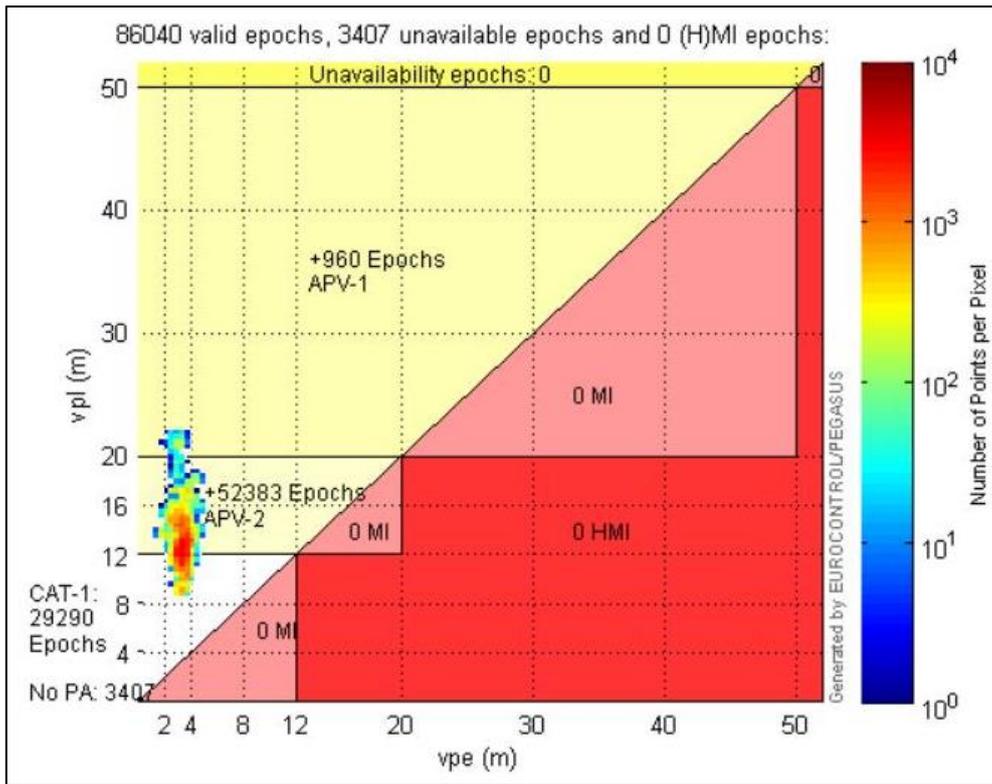


Figura 11.30: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 214.

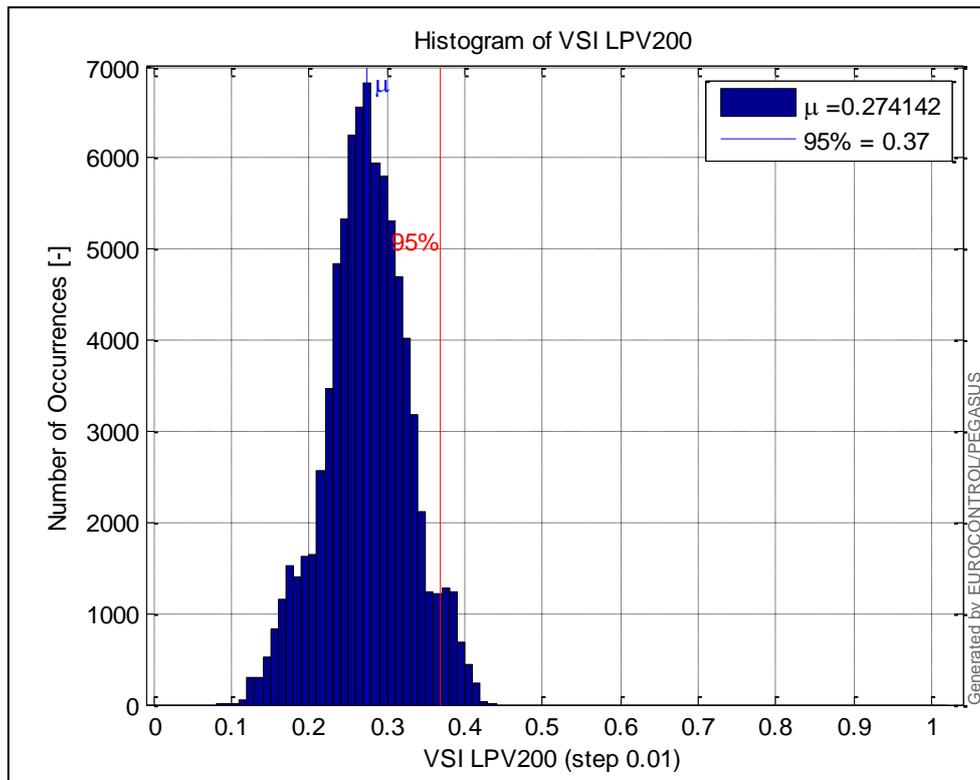


Figura 11.31: Histograma VSI del día 214.

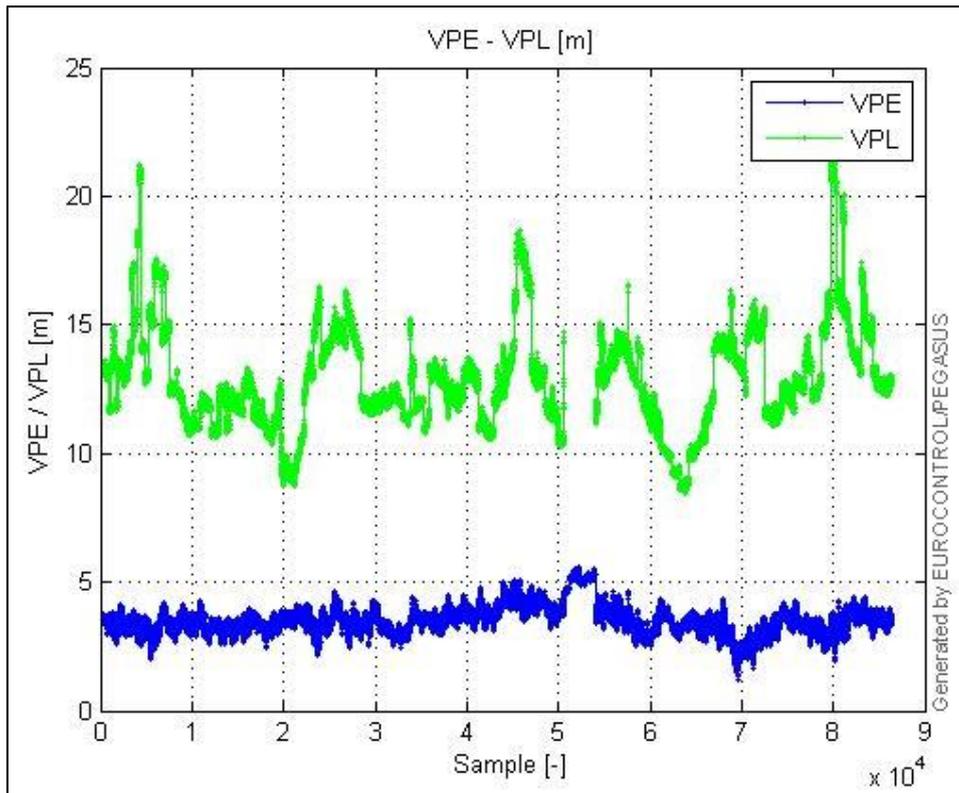


Figura 11.32: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 214.

3 de agosto de 2017

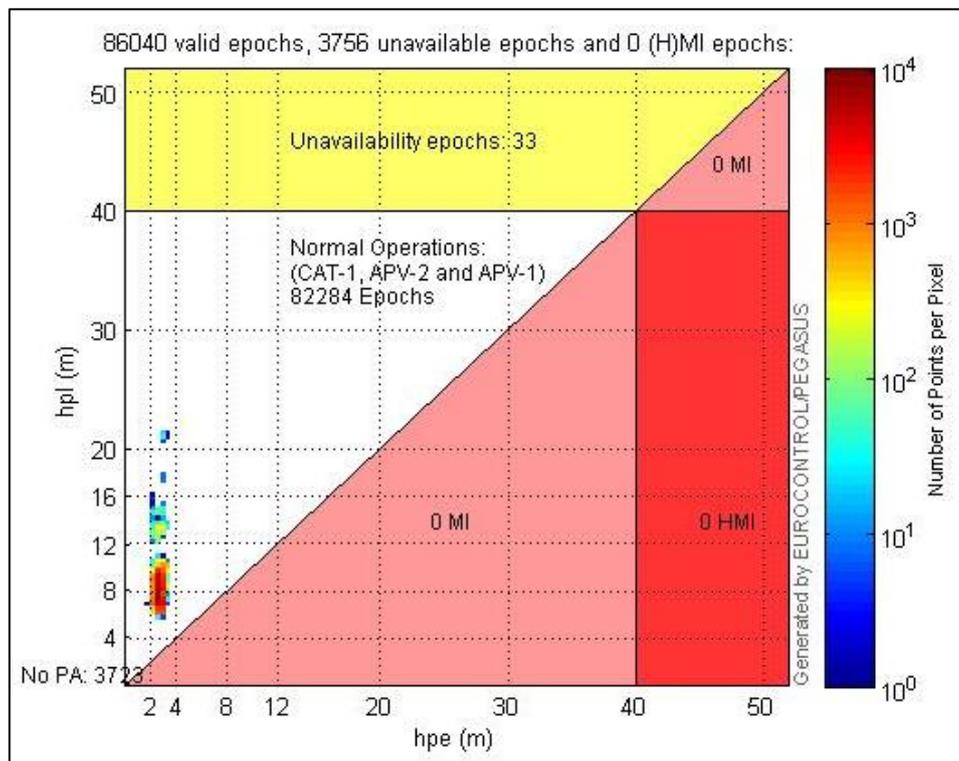


Figura 11.33: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 215.

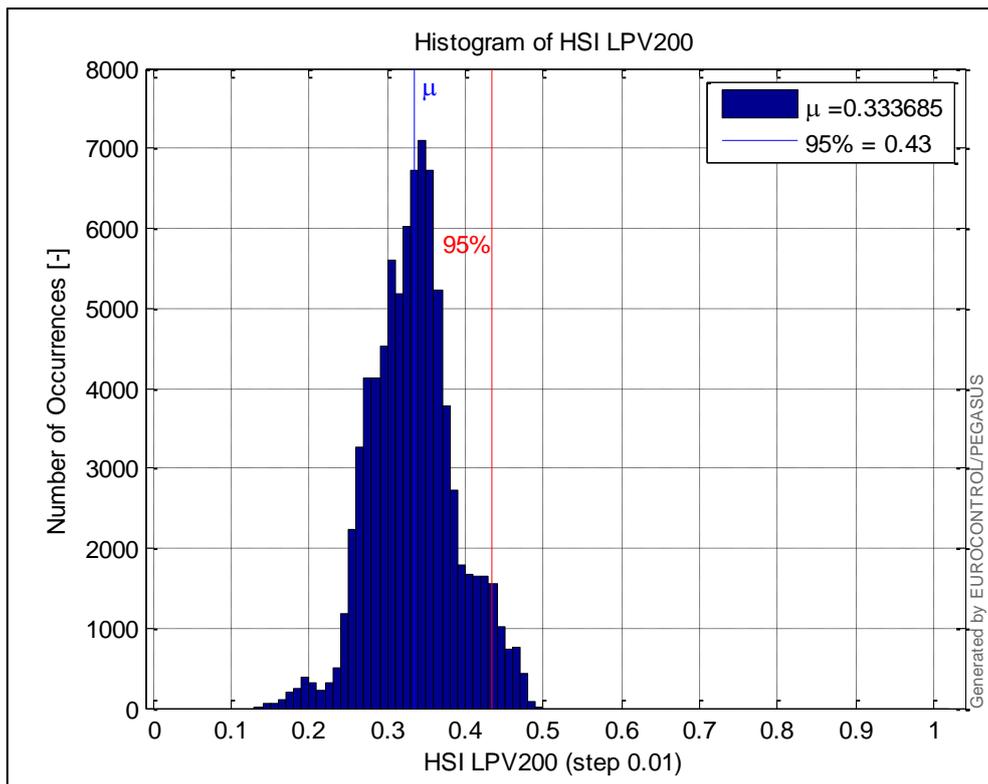


Figura 11.34: Histograma HSI del día 215.

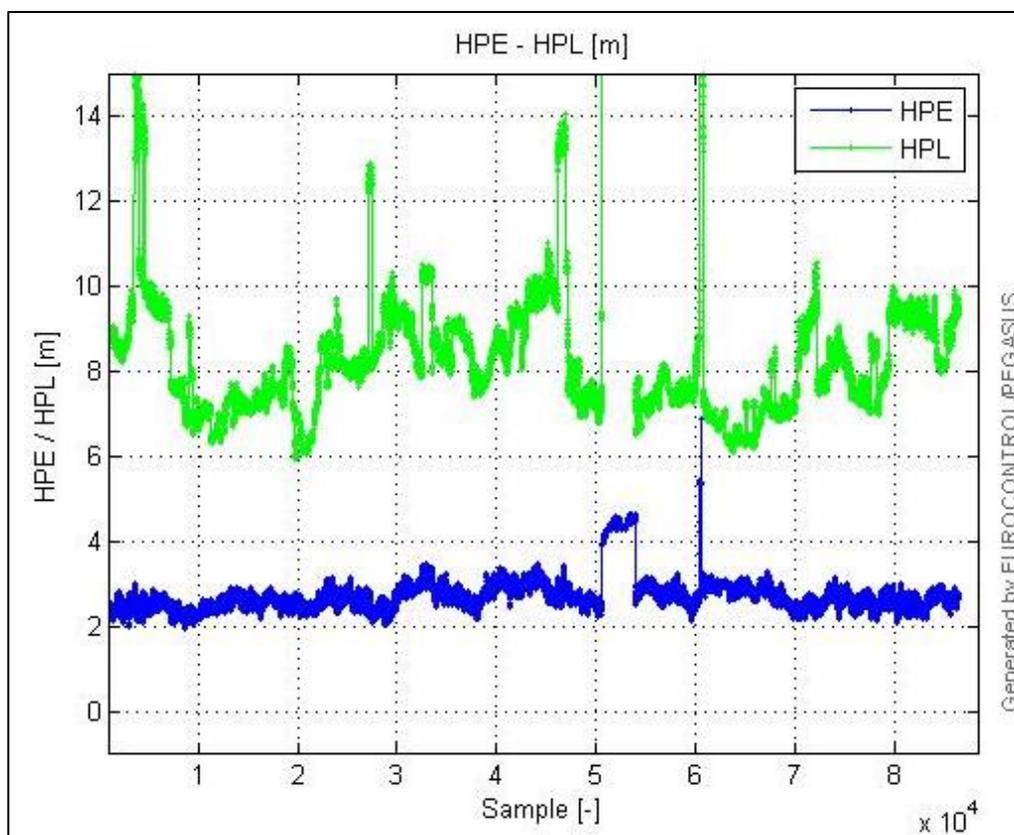


Figura 11.35: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 215.

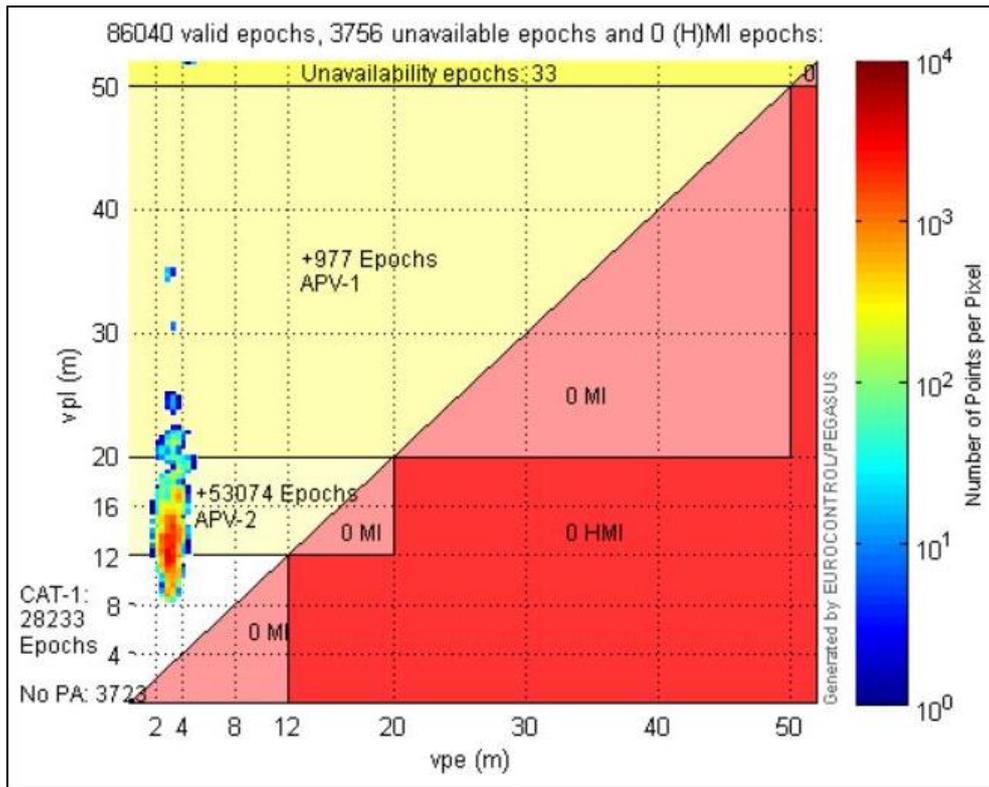


Figura 11.36: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 215.

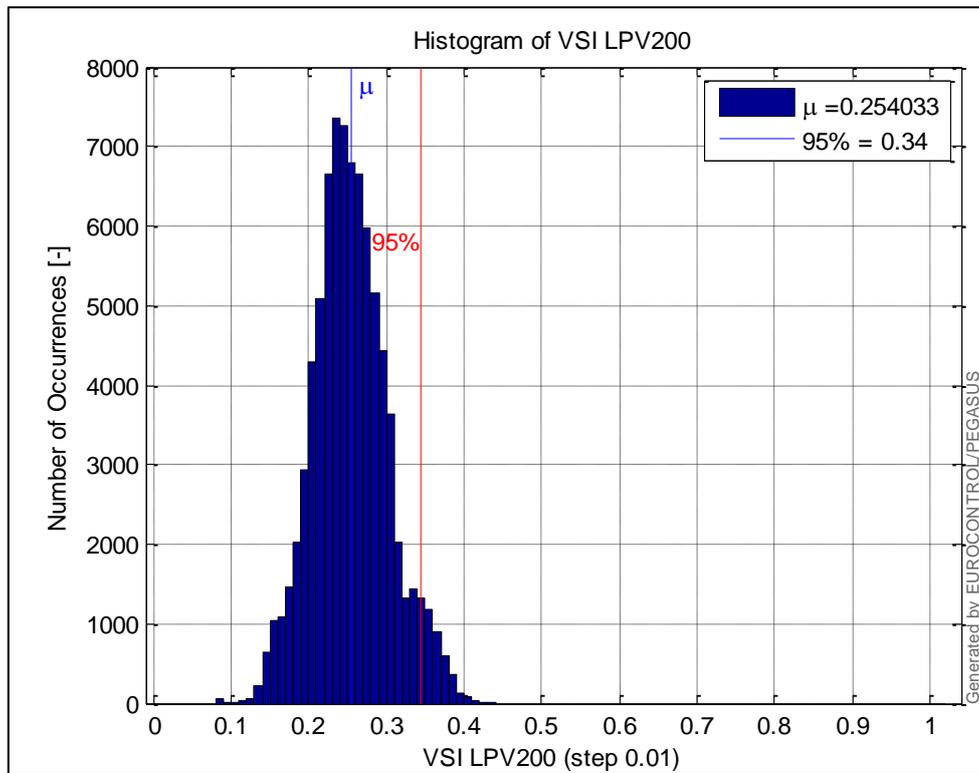


Figura 11.37: Histograma VSI del día 215.

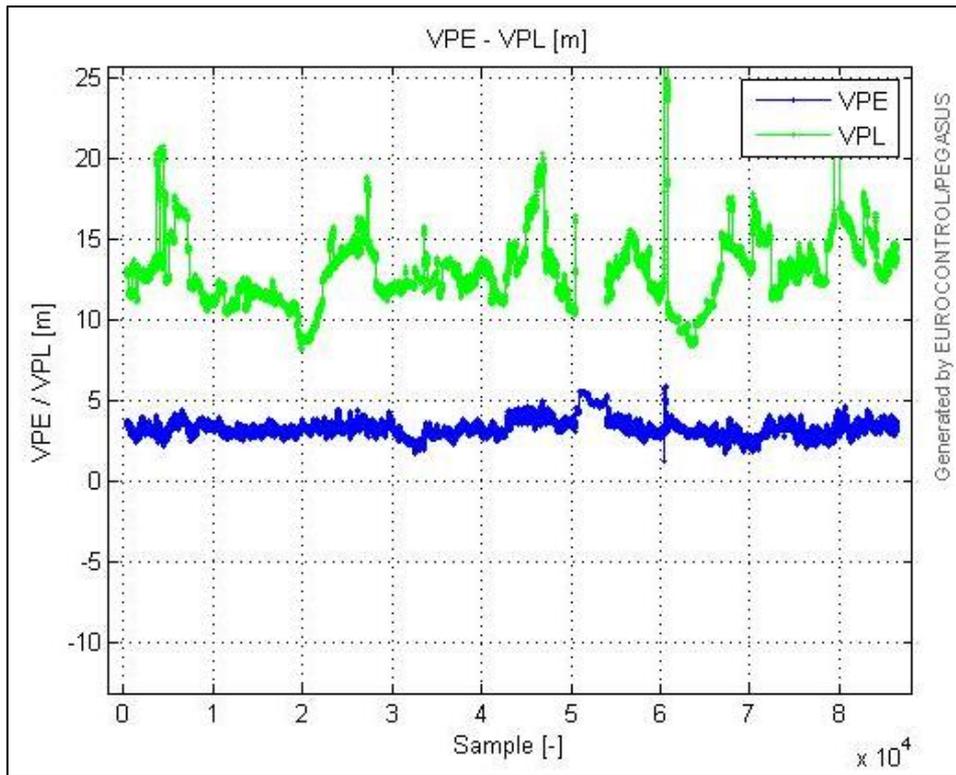


Figura 11.38: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 215.

4 de agosto de 2017

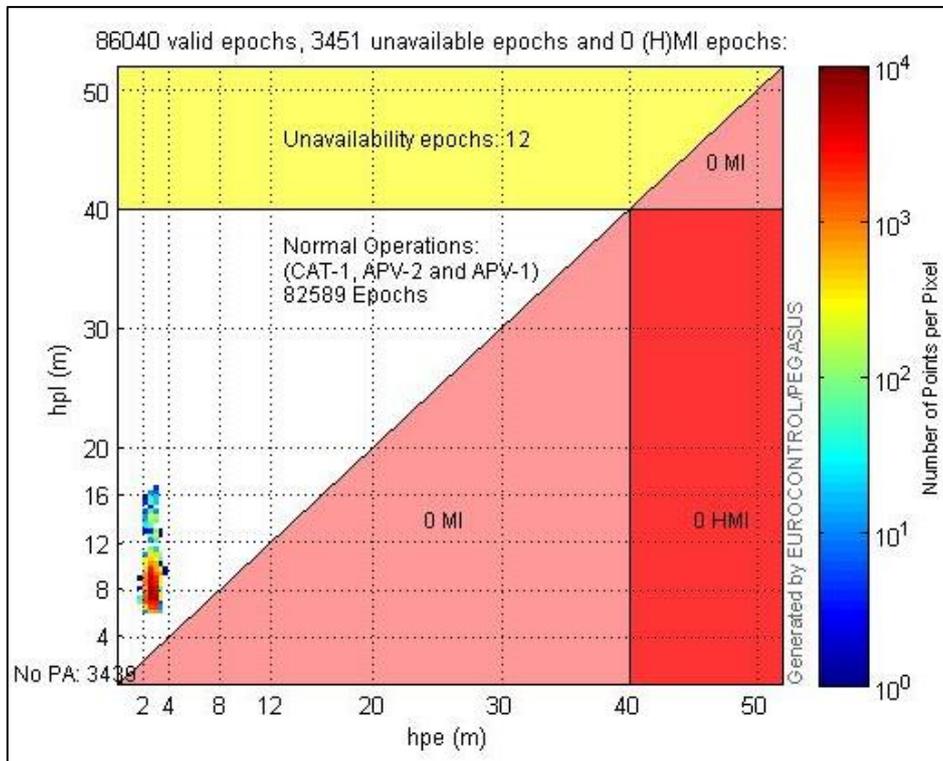


Figura 11.39: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 216.

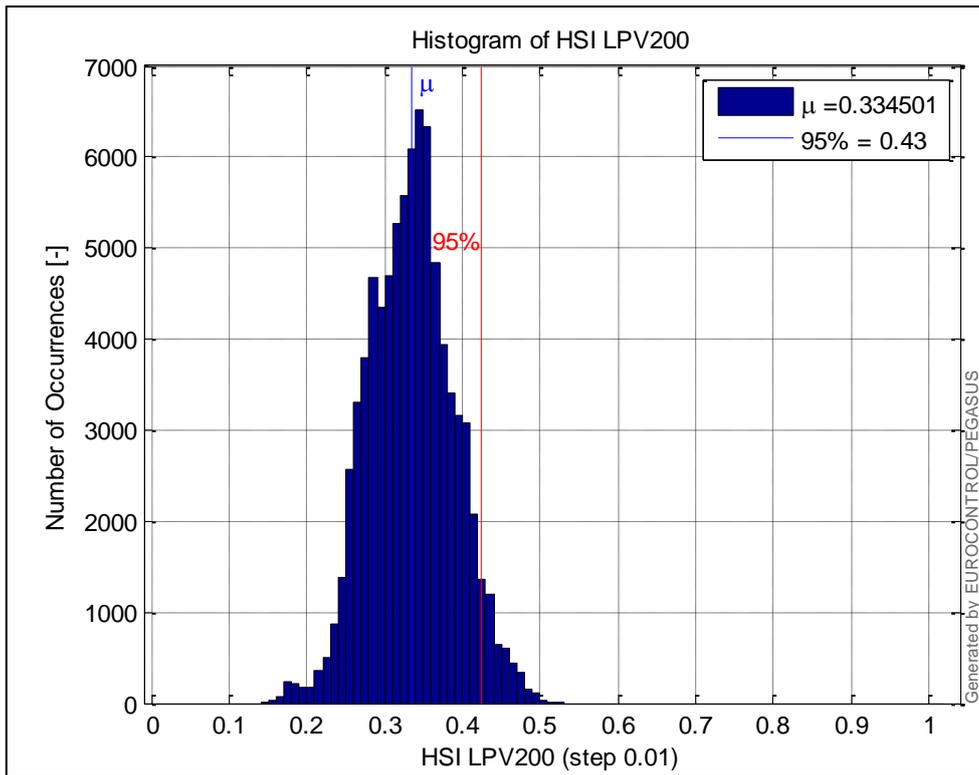


Figura 11.40: Histograma HSI del día 216.

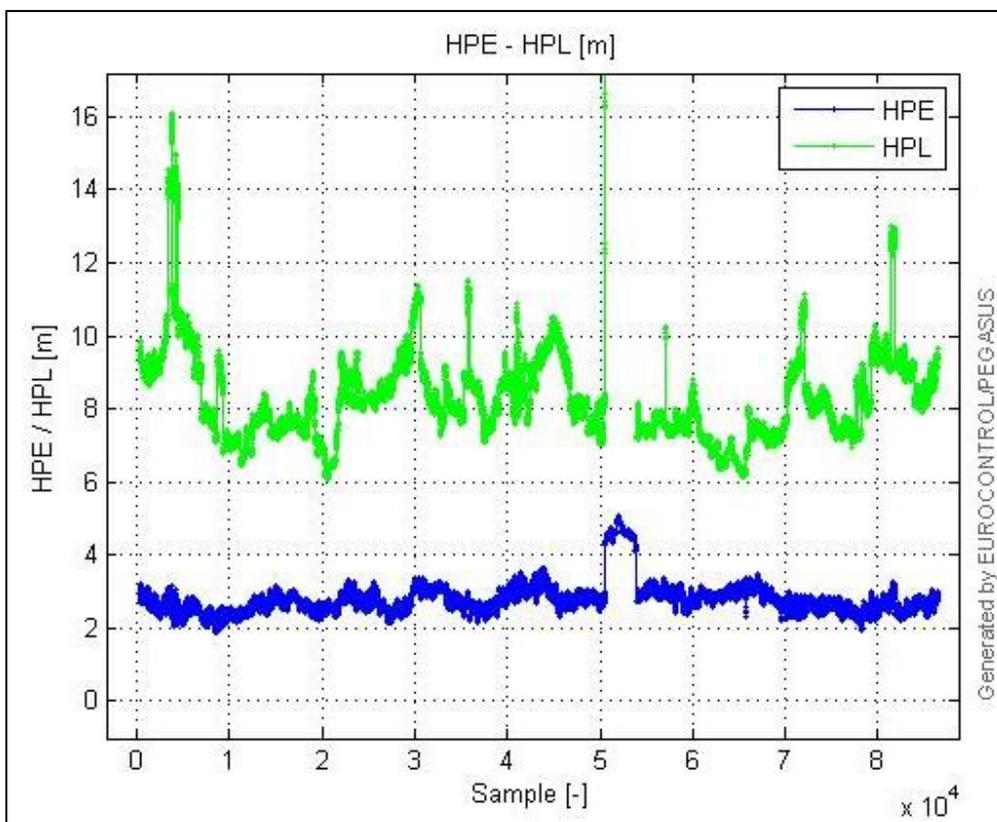


Figura 11.41: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 216.

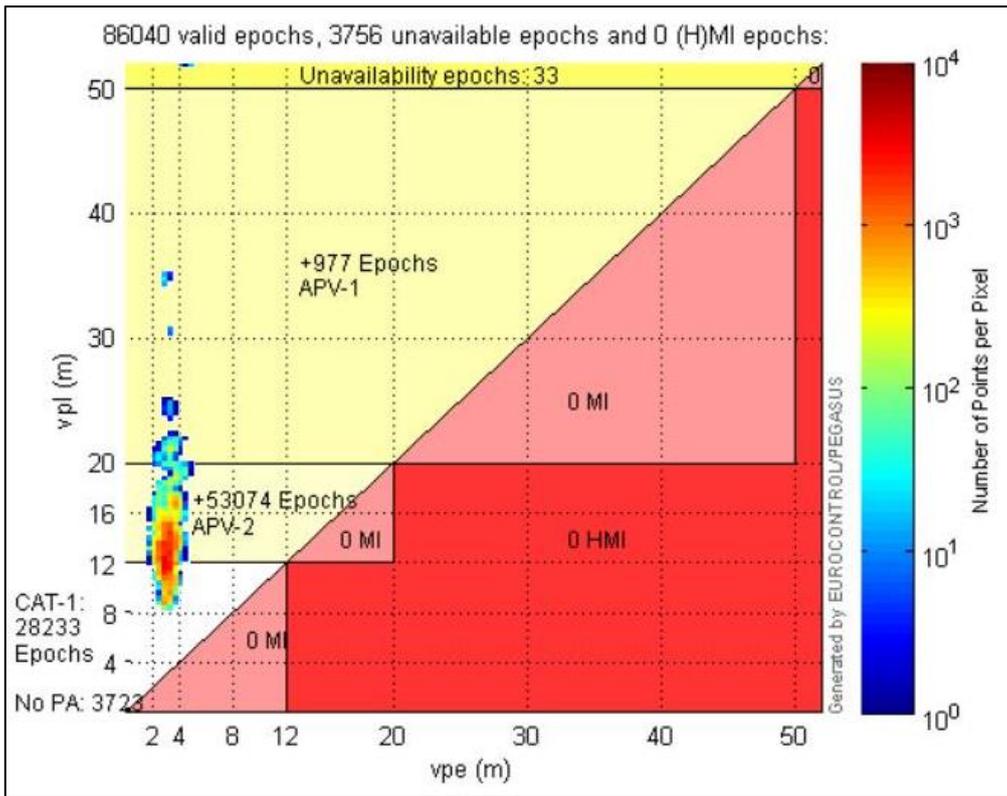


Figura 11.42: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 216.

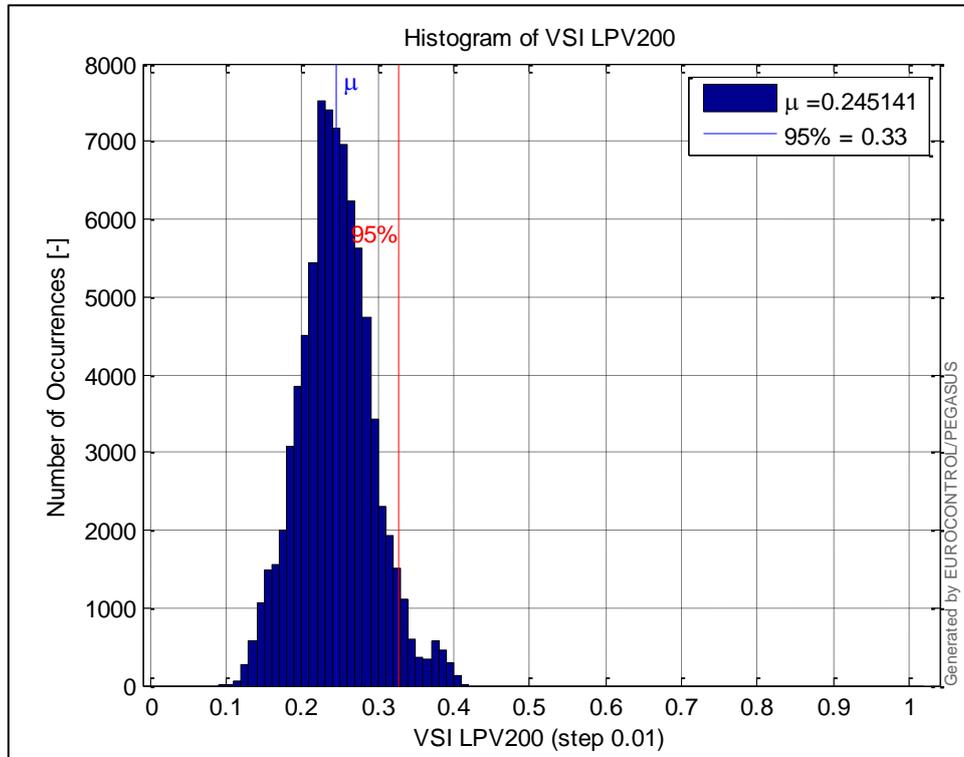


Figura 11.43: Histograma VSI del día 216.

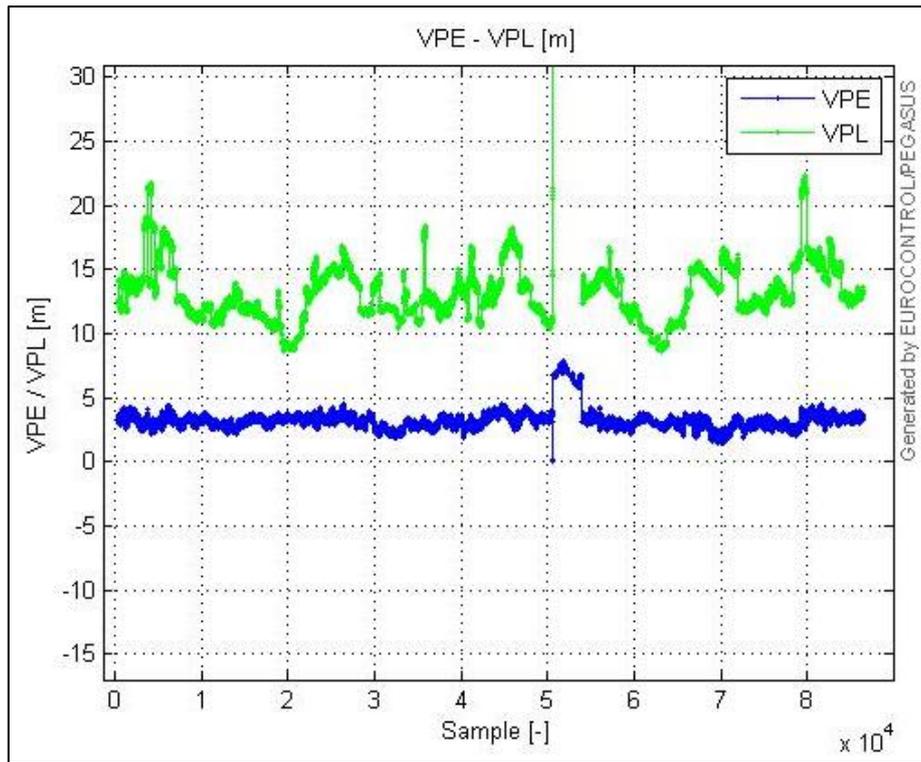


Figura 11.44: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 216.

5 de agosto de 2017

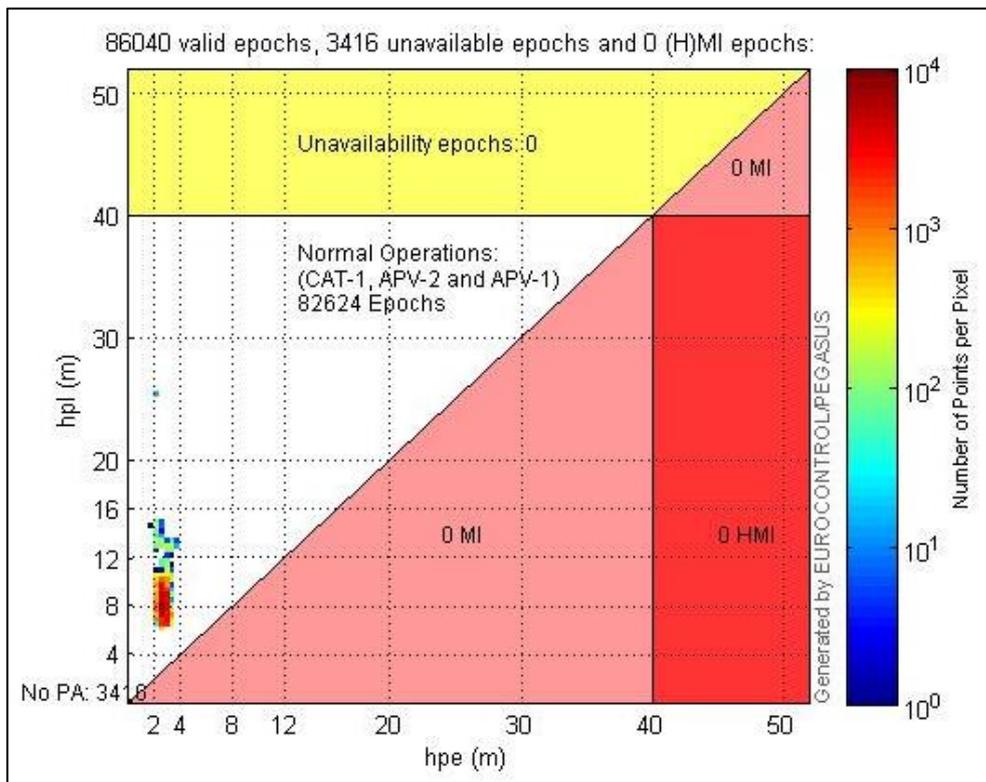


Figura 11.45: Diagrama de Stanford, componente Horizontal, del día 217.

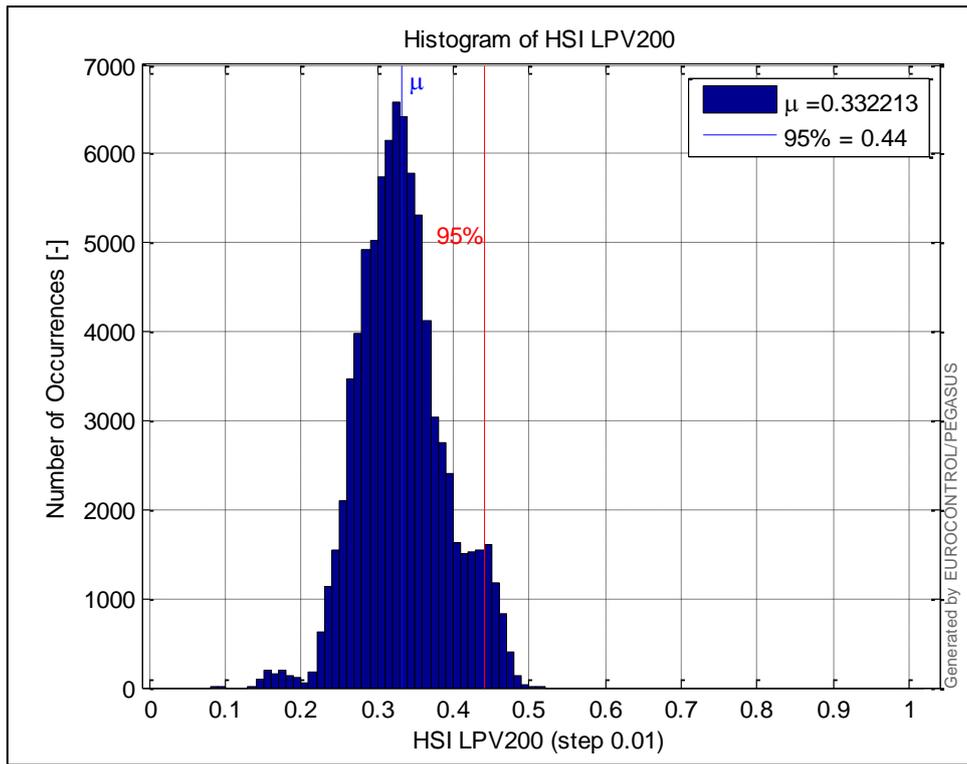


Figura 11.46: Histograma HSI del día 217.

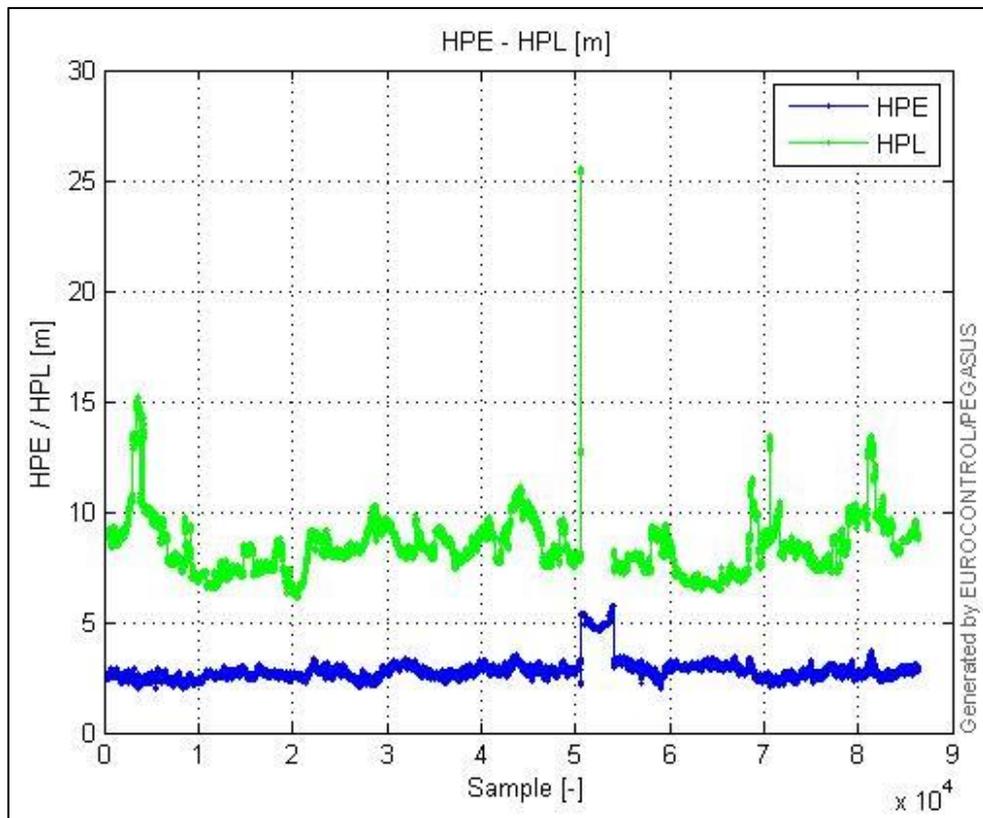


Figura 11.47: Diagrama comparativo HPE/HPL del día 217.

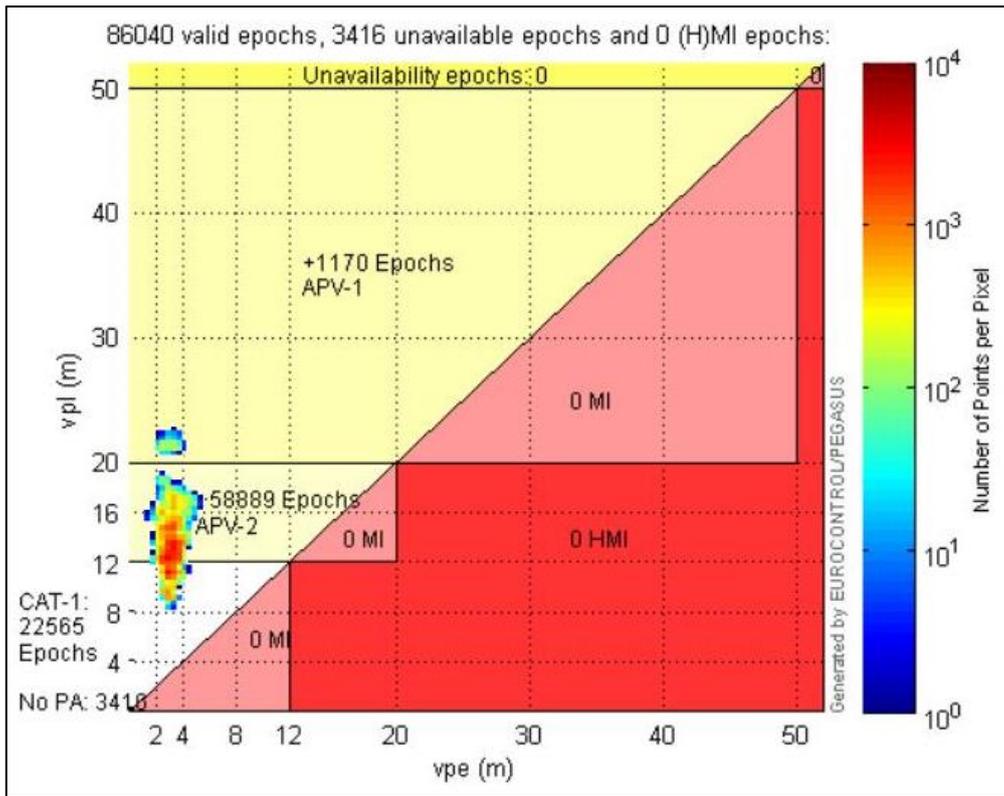


Figura 11.48: Diagrama de Stanford, componente Vertical, del día 217.

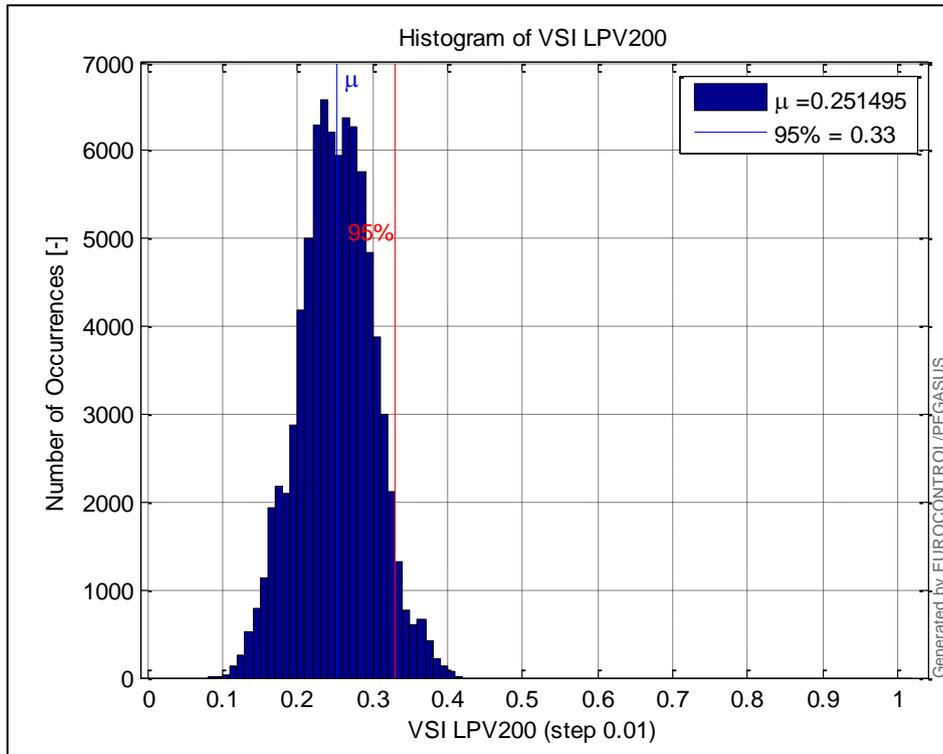


Figura 11.49: Histograma VSI del día 217.

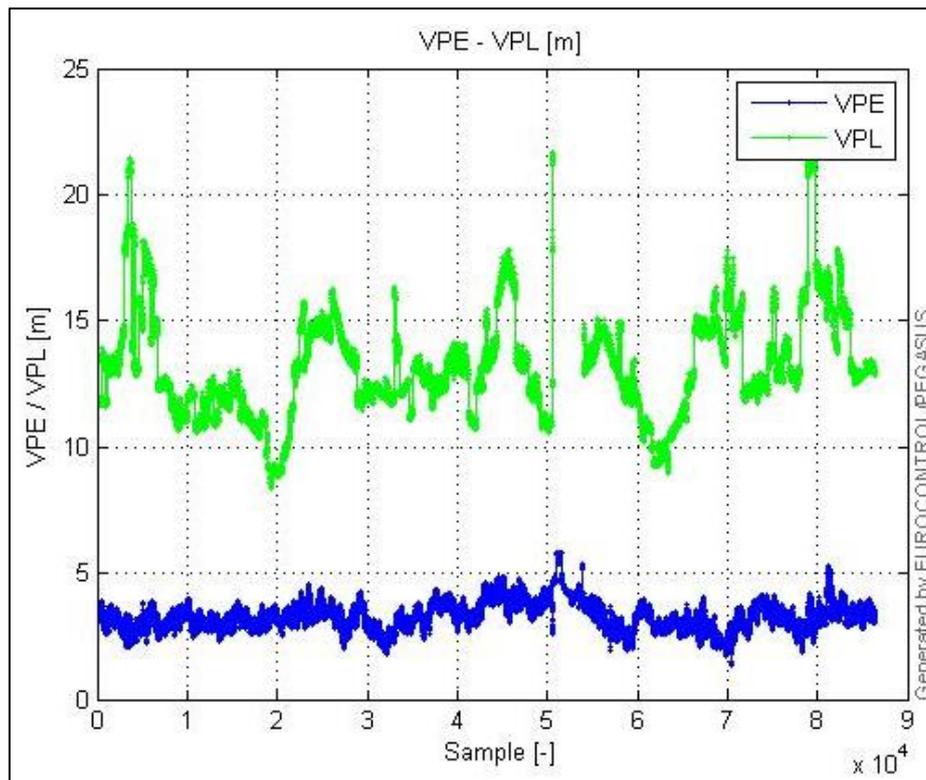


Figura 11.50: Diagrama comparativo VPE/VPL del día 217.

Comenzando el análisis por los Histogramas de HSI/VSI, podemos observar como los valores del percentil 95 son en todos los casos (los 5 días al completo) inferiores a 1, con valores que oscilan entre 0.3 y 0.5 (índices que podemos decir son bastante buenos).

Los Diagramas comparativos entre los errores y los límites de protección muestran como en todos los casos el error se mantiene inferior a este límite, asegurando que no se producen eventos de integridad en el periodo de estudio.

Por último, se puede observar en los Diagramas de Stanford, comenzando por el horizontal, como la mayoría de las épocas registradas se encuentran en la zona óptima, aquella en la que se admite hasta CAT I. Esto sucede así salvo los días 3 y 4, en los que aparecen 33 y 12 épocas donde el sistema no es utilizable debido a que el límite de alerta se ha situado por debajo del nivel de protección. Pese a ello se ha observado que el error no supera nunca el límite por lo que dejando el sistema inhabilitado por ese espacio de tiempo es ínfimo (se ve en las esquinas inferiores izquierdas como hay alrededor de 3500 épocas no habilitadas de normal). Para el caso vertical, vemos una mayor distribución de las épocas entre los espacios de CAT I, APV-2 y APV-1. Los mismos días son los que presentan épocas inhabilitadas por la misma razón, asumiendo la misma medida.

Con todo esto se asume que el sistema cumple los requerimientos de precisión impuestos por la OACI.

## 11.4. Continuidad

El último de los requerimientos a analizar es el de la continuidad que, como se ha mencionado en el apartado 11.2, no se ha podido obtener directamente del software PEGASUS y su análisis se realiza de acuerdo con el mapa de colores obtenido de EGNOS User Support.

Como ya se aventuró en la descripción de la continuidad, este es la prestación en la que peores resultados obtiene EGNOS, siendo de todas formas un inconveniente menor pues la OACI nos permite estos resultados siempre y cuando se presente un plan de mejora con garantías y esté bien acompañado por el resto de requisitos.

Recordamos que se debe de poder superar una continuidad de entre 1 y  $8 \cdot 10^{-6}$  cada 15s.

1 de agosto de 2017

Se he tomado el mapa de color de combinación PRN 120 y PRN 123, resultando el más veraz pues se busca redundancia con los GEO y por ello el estudio se hace siempre con el resultado combinatorio de la disponibilidad de ambos.

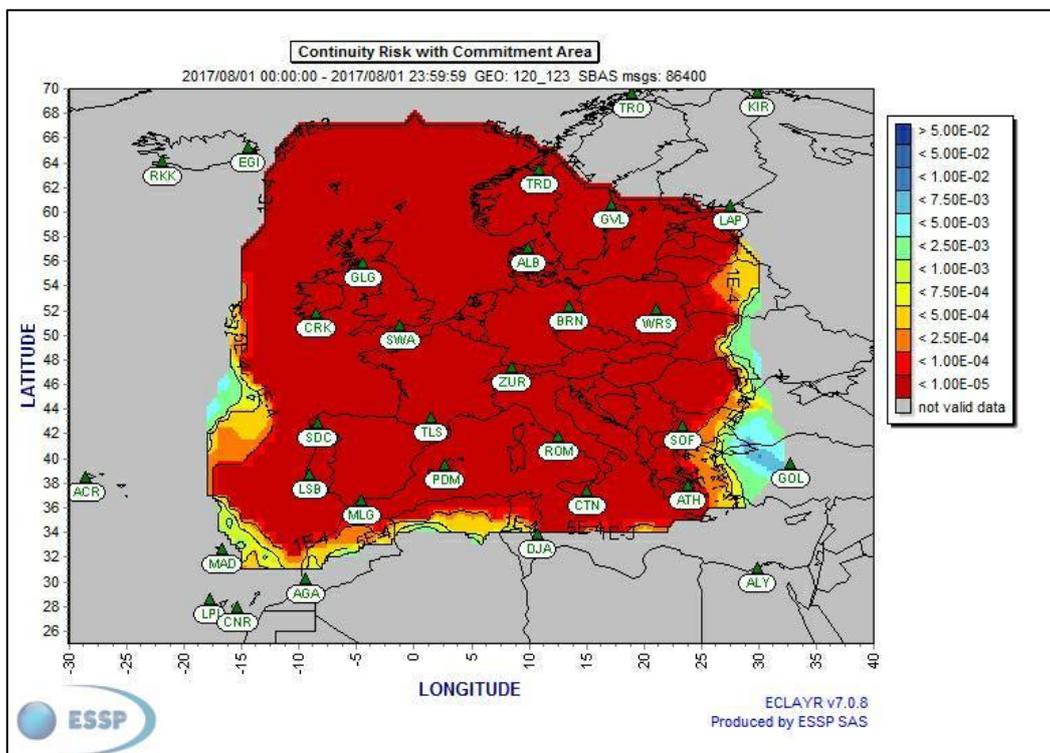


Figura 11.51: Mapa de color de Continuidad del día 213.

2 de agosto de 2017

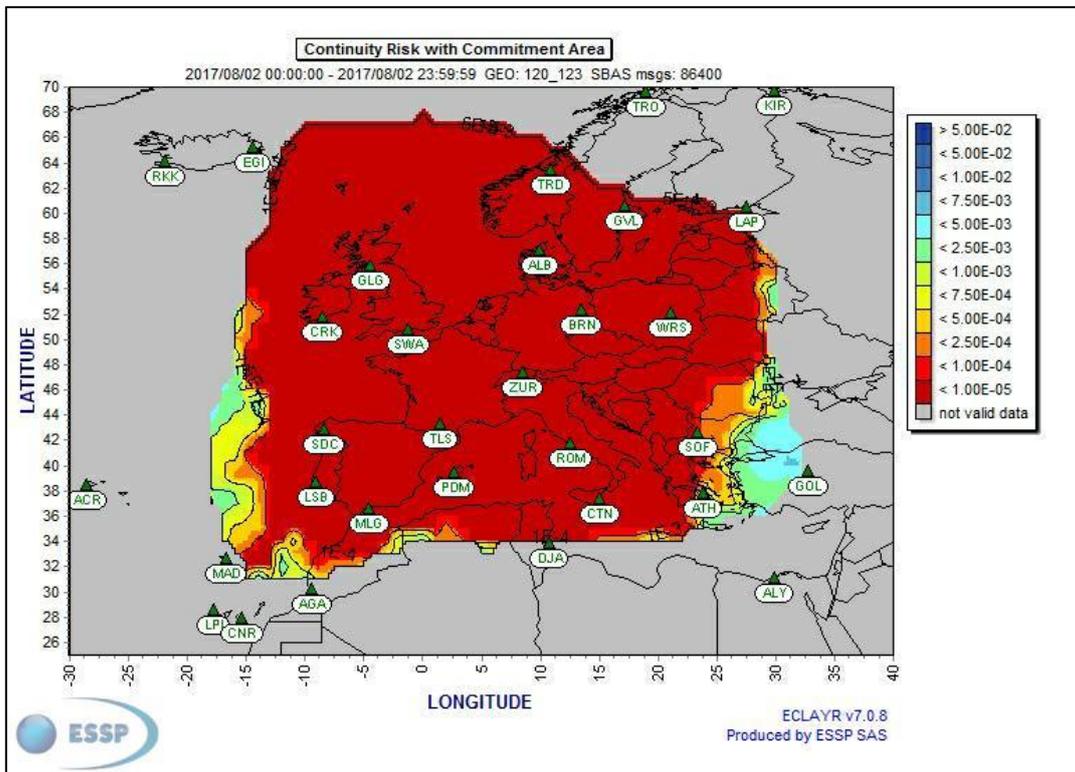


Figura 11.52: Mapa de color de Continuidad del día 214.

3 de agosto de 2017

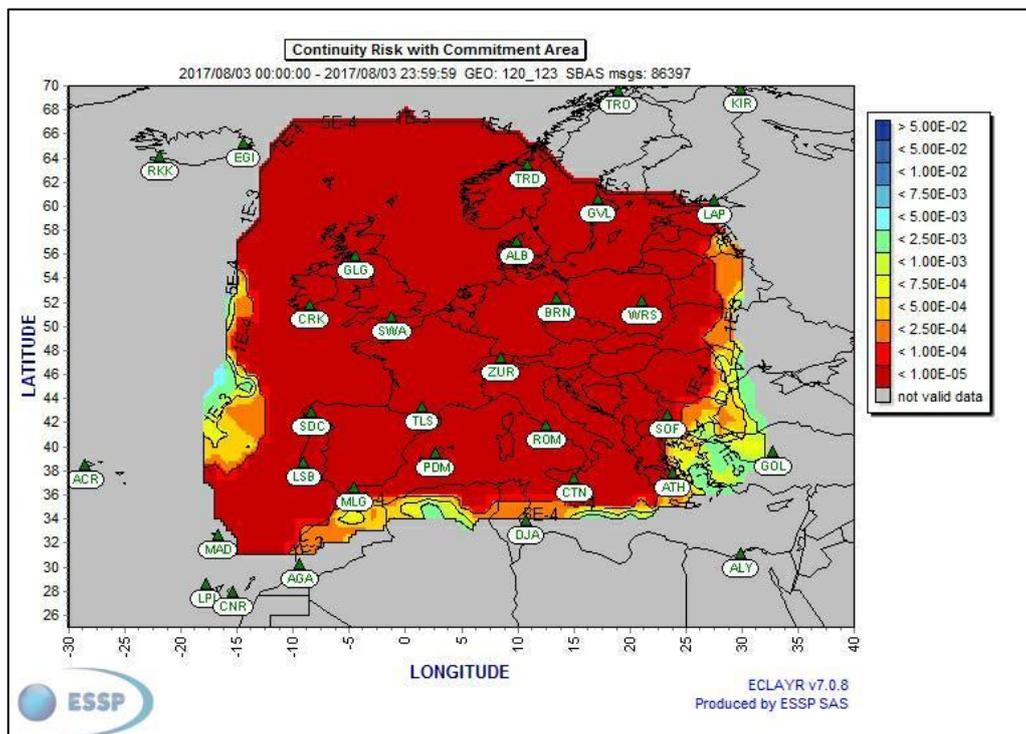


Figura 11.53: Mapa de color de Continuidad del día 215.

4 de agosto de 2017

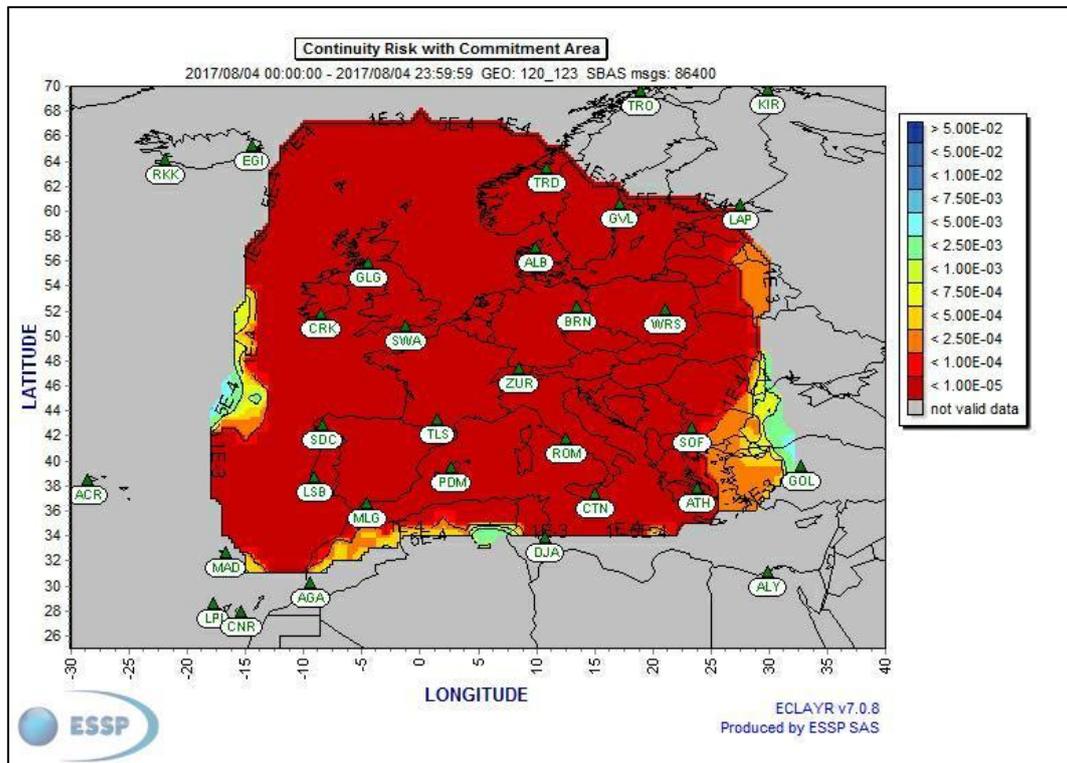


Figura 11.54: Mapa de color de Continuidad del día 216.

5 de agosto de 2017

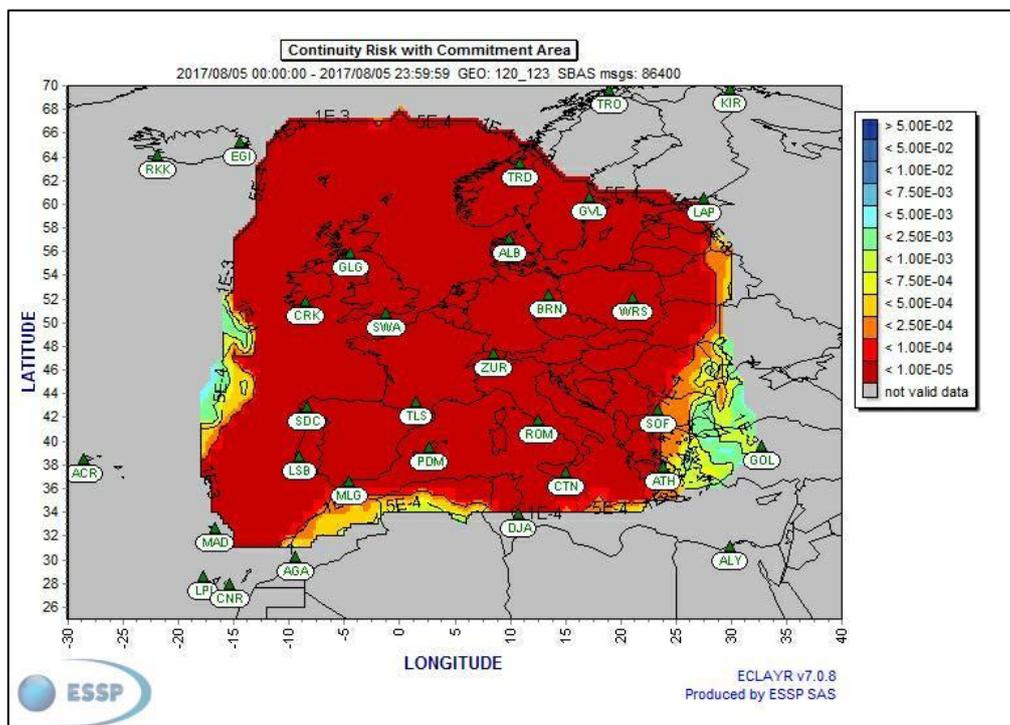


Figura 11.55: Mapa de color de Continuidad del día 217.

Como se puede observar de las 5 Figuras anteriores, el valor de la continuidad en Alicante es siempre menor a  $1 \cdot 10^{-5}$ . Esto no garantiza bajar los mínimos de OACI, haciendo que la continuidad sea la prestación que no cumple como ya se había anticipado. No obstante, al ser esto previsible para los resultados EGNOS, se acepta para la certificación del procedimiento SBAS.

# 12. Conclusión

Este trabajo se inició con el objetivo de realizar la certificación y análisis de los datos de un procedimiento SBAS de tipo LPV-200 en Valencia. Esto se componía del análisis de datos a largo y corto periodo, análisis de datos de ensayos de vuelo y diseño de procedimientos. Tanto el ensayo de vuelo como el diseño no se han realizado pues no se tenían los datos del primero para proceder tras la validación de los datos de corto periodo.

Previo al desarrollo práctico, se ha realizado una introducción al panorama actual de los Sistemas de Navegación, contextualizando el porqué del presente Trabajo Fin de Grado. Se han descrito las diferentes prestaciones a analizar y otros términos importantes para el correcto análisis del proyecto y como se ubican dentro de la transformación hacia los conceptos PBN por parte de los sistemas GNSS.

Tras esta introducción teórica y contextualización, se comienza la obtención de los datos necesarios para el análisis de las prestaciones. Primero, para el largo periodo a partir de los informes mensuales y, después, haciendo uso de los servidores FTP para la obtención de los datos horarios de Observación, Navegación y los ficheros SBAS. Todos ellos se tratan de la forma necesaria para poder ser ejecutados posteriormente en el software PEGASUS.

Tras pasar por los tres diferentes módulos de este software, se analizan los resultados para ver como 3 de ellos cumplen con lo establecido por la OACI, siendo la continuidad la única que no lo consigue. Dado el carácter de la limitación para este requerimiento, se toma como válido, haciendo que el análisis y certificación para la terminal de Valencia sea exitosa.

Más adelante, al no poder realizar el análisis de ensayo de vuelo por no tener los datos del mismo, se ha optado por comprobar el correcto funcionamiento del procedimiento seguido para Valencia en otra ciudad cercana: Alicante. Los datos son igualmente exitosos a la conclusión del análisis.

Con todo esto, no podemos decir que el TFG haya cumplido con su objetivo pues la certificación de procedimientos SBAS de Valencia no se ha podido concluir, pero si se ha podido llevar a cabo un extenso estudio de sus dos primeras fases: validación de datos de largo y corto periodo.



## II. PLIEGO DE CONDICIONES

# 13. Condiciones Generales

## 13.1. General

Todos aquellos lugares frecuentados para realizar trabajos en los que, generalmente y durante gran parte del tiempo, se emplean pantallas de visualización (ordenadores, pantallas de vigilancia...), tienen unos riesgos bien definidos que se han de prevenir en la medida de lo posible. Los trabajos a los que se hace referencia muestran, muy probablemente, como una tecnología punta también puede implicar la inclusión de un nuevo riesgo laboral. Problemas en la visión, en los ojos, problemas de postura e incluso lesiones por la realización de movimientos repetitivos y el estrés de postura.

Con el objetivo de ver reducidos estos riesgos, el Real Decreto 488/1997 del 14 de abril establece cuáles son los mínimos en materia de seguridad y salud para que cualquier trabajador realizando una tarea de las mencionadas e incluyendo pantalla de visualización en la que se aplican las disposiciones de la Ley 31/1995, 8 de Noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.

Para una correcta prevención de riesgos laborales, las variables a las que se debe de prestar más atención, centrándolas en la realización de este Trabajo Fin de Grado, son:

- El tiempo que el trabajador ha de permanecer frente la pantalla, ya sea de manera ininterrumpida o con pausas.
- Tiempo total de trabajo con la pantalla de visualización
- Dificultad y grado de exigencia de la tarea a realizar con la pantalla de visualización
- Necesidad de hallar información de manera rápida y efectiva.

Lo diferentes factores que se han de considerar para la prevención de riesgos laborales son:

- Seguridad (debido a contactos eléctricos, caída o golpes en el puesto de trabajo).
- Higiene industrial (iluminación, ruido y condiciones termo-higrométricas, transmisiones de virus en el ambiente de trabajo o bacterias nocivas a través del contacto en el teclado que podría acumular gran cantidad de estas).
- Ergonomía (fatiga visual, picores, percepción borrosa. Fatiga física y mental: ansiedad, irritabilidad o insomnio).

## 13.2. Real Decreto 488/1997 del 14 de abril

### **Artículo 1. Objeto.**

- 1) El presente Real Decreto establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización.
- 2) Las disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el apartado anterior.
- 3) Quedan excluidos del ámbito de aplicación de este Real Decreto:
  - a) Los puestos de conducción de vehículos o máquinas.
  - b) Los sistemas informáticos embarcados en un medio de transporte.
  - c) Los sistemas informáticos destinados prioritariamente a ser utilizados por el público.
  - d) Los sistemas llamados portátiles, siempre y cuando no se utilicen de modo continuado en un puesto de trabajo.
  - e) Las calculadoras, cajas registradoras y todos aquellos equipos que tengan un pequeño dispositivo de visualización de datos o medidas necesario para la utilización directa de dichos equipos.
  - f) Las máquinas de escribir de diseño clásico, conocidas como máquinas de ventanilla.

### **Artículo 2. Definiciones.**

A efectos de este Real Decreto se entenderá por:

- 1) Pantalla de visualización: una pantalla alfanumérica o gráfica, independientemente del método de representación visual utilizado.
- 2) Puesto de trabajo: el constituido por un equipo con pantalla de visualización provisto, en su caso, de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, de un programa para la interconexión persona/máquina, de accesorios ofimáticos y de un asiento y mesa o superficie de trabajo, así como el entorno laboral inmediato.

- 3) Trabajador: cualquier trabajador que habitualmente y durante una parte relevante de su trabajo normal utilice un equipo con pantalla de visualización.

### **Artículo 3. Obligaciones generales del empresario.**

- 1) El empresario adoptará las medidas necesarias para que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización no suponga riesgos para su seguridad o salud o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo.

En cualquier caso, los puestos de trabajo a que se refiere el presente Real Decreto deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo del mismo.

- 2) A efectos de lo dispuesto en el primer párrafo del apartado anterior, el empresario deberá evaluar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, teniendo en cuenta en particular los posibles riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, así como el posible efecto añadido o combinado de los mismos.

La evaluación se realizará tomando en consideración las características propias del puesto de trabajo y las exigencias de la tarea y entre éstas, especialmente, las siguientes:

- a) El tiempo promedio de utilización diaria del equipo.
  - b) El tiempo máximo de atención continua a la pantalla requerido por la tarea habitual.
  - c) El grado de atención que exija dicha tarea.
- 3) Si la evaluación pone de manifiesto que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización supone o puede suponer un riesgo para su seguridad o salud, el empresario adoptará las medidas técnicas u organizativas necesarias para eliminar o reducir el riesgo al mínimo posible. En particular, deberá reducir la duración máxima del trabajo continuado en pantalla, organizando la actividad diaria de forma que esta tarea se alterne con otras o estableciendo las pausas necesarias cuando la alternancia de tareas no sea posible o no baste para disminuir el riesgo suficientemente.

- 4) En los convenios colectivos podrá acordarse la periodicidad, duración y condiciones de organización de los cambios de actividad y pausas a que se refiere el apartado anterior.

#### **Artículo 4. Vigilancia de la salud.**

- 1) El empresario garantizará el derecho de los trabajadores a una vigilancia adecuada de su salud, teniendo en cuenta en particular los riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, el posible efecto añadido o combinado de los mismos, y la eventual patología acompañante. Tal vigilancia será realizada por personal sanitario competente y según determinen las autoridades sanitarias en las pautas y protocolos que se elaboren, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 37 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención. Dicha vigilancia deberá ofrecerse a los trabajadores en las siguientes ocasiones:
  - a) Antes de comenzar a trabajar con una pantalla de visualización.
  - b) Posteriormente, con una periodicidad ajustada al nivel de riesgo a juicio del médico responsable.
  - c) Cuando aparezcan trastornos que pudieran deberse a este tipo de trabajo.
- 2) Cuando los resultados de la vigilancia de la salud a que se refiere el apartado 1 lo hiciese necesario, los trabajadores tendrán derecho a un reconocimiento oftalmológico.
- 3) El empresario proporcionará gratuitamente a los trabajadores dispositivos correctores especiales para la protección de la vista adecuados al trabajo con el equipo de que se trate, si los resultados de la vigilancia de la salud a que se refieren los apartados anteriores demuestran su necesidad y no pueden utilizarse dispositivos correctores normales.

#### **Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación.**

- 1) De conformidad con los artículos 18 y 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información

adecuadas sobre los riesgos derivados de la utilización de los equipos que incluyan pantallas de visualización, así como sobre las medidas de prevención y protección que hayan de adoptarse en aplicación del presente Real Decreto,

- 2) El empresario deberá informar a los trabajadores sobre todos los aspectos relacionados con la seguridad y la salud en su puesto de trabajo y sobre las medidas llevadas a cabo de conformidad con lo dispuesto en los artículos 3 y 4 de este Real Decreto.
- 3) El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación adecuada sobre las modalidades de uso de los equipos con pantallas de visualización, antes de comenzar este tipo de trabajo y cada vez que la organización del puesto de trabajo se modifique de manera apreciable.

#### **Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores.**

La consulta y participación de los trabajadores o sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este Real Decreto se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el apartado 2 del artículo 18 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

#### **Anexo**

##### **Disposiciones mínimas**

Por todo lo dispuesto anteriormente, se va a definir el puesto de trabajo específico para la prevención de riesgos laborales y seguridad.

- 1) Equipo.
  - a) Observación general.

La utilización en sí misma del equipo no debe ser una fuente de riesgo para los trabajadores.

- b) Pantalla.

Los caracteres de la pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara, y tener una dimensión suficiente, disponiendo de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones. La imagen de la pantalla deberá

ser estable, sin fenómenos de destellos, centelleos u otras formas de inestabilidad. El usuario de terminales con pantalla deberá poder ajustar fácilmente la luminosidad y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla, y adaptarlos fácilmente a las condiciones del entorno. La pantalla deberá ser orientable e inclinable a voluntad, con facilidad para adaptarse a las necesidades del usuario. Podrá utilizarse un pedestal independiente o una mesa regulable para la pantalla. La pantalla no deberá tener reflejos ni reverberaciones que puedan molestar al usuario.

c) Teclado.

El teclado deberá ser inclinable e independiente de la pantalla para permitir que el trabajador adopte una postura cómoda que no provoque cansancio en los brazos o las manos. Tendrá que haber espacio suficiente delante del teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos. La superficie del teclado deberá ser mate para evitar los reflejos. La disposición del teclado y las características de las teclas deberán tender a facilitar su utilización. Los símbolos de las teclas deberán resaltar suficientemente y ser legibles desde la posición normal de trabajo.

d) Mesa o superficie de trabajo.

La mesa o superficie de trabajo deberán ser poco reflectantes, tener dimensiones suficientes y permitir una colocación flexible de la pantalla, del teclado, de los documentos y del material accesorio. El soporte de los documentos deberá ser estable y regulable y estará colocado de tal modo que se reduzcan al mínimo los movimientos incómodos de la cabeza y ojos. El espacio deberá ser suficiente para permitir a los trabajadores una posición cómoda.

e) Asiento de trabajo.

El asiento de trabajo deberá ser estable, proporcionando al usuario libertad de movimiento y procurándole una postura confortable. La altura del mismo

deberá ser regulable, el respaldo deberá ser reclinable y su altura ajustable. Se pondrá un reposapiés a disposición de quienes lo deseen.

2) Entorno

a) Espacio.

El puesto de trabajo deberá tener una dimensión suficiente y estar acondicionado de tal manera que haya espacio para permitir los cambios de postura y movimientos de trabajo.

b) Iluminación.

La iluminación general y la iluminación especial (lámparas de trabajo), cuando sea necesaria, deberán garantizar unos niveles adecuados de iluminación y unas relaciones adecuadas de luminancias entre la pantalla y su entorno, habida cuenta del carácter del trabajo, de las necesidades visuales del usuario y del tipo de pantalla utilizado. El acondicionamiento del lugar de trabajo y del puesto de trabajo, así como la situación y las características técnicas de las fuentes de luz artificial, deberán coordinarse de tal manera que se eviten los deslumbramientos y los reflejos molestos en la pantalla u otras partes del equipo.

c) Reflejos y deslumbramientos.

Los puestos de trabajo deberían instalarse de tal forma que las fuentes de luz, tales como ventanas y otras aberturas, los tabiques transparentes o translúcidos y los equipos o tabiques de color claro no provoquen deslumbramiento directo ni produzcan reflejos molestos en la pantalla. Las ventanas deberán ir equipadas con un dispositivo de cobertura adecuado y regulable para atenuar la luz del día que ilumine el puesto de trabajo.

d) Ruido.

El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra.

e) Calor.

Los equipos instalados en el puesto de trabajo no deberán producir un calor adicional que pueda ocasionar molestias a los trabajadores.

f) Emisiones.

Toda radiación, excepción hecha de la parte visible del espectro electromagnético, deberá reducirse a niveles insignificantes desde el punto de vista de la protección de la seguridad y de la salud de los trabajadores.

g) Humedad.

Deberá crearse y mantenerse una humedad aceptable.

3) Interconexión ordenador/persona.

Para la elaboración, la elección, la compra y la modificación de programas, así como para la definición de las tareas que requieran pantallas de visualización, el empresario tendrá en cuenta los siguientes factores:

- a) El programa habrá de estar adaptado a la tarea que deba realizarse.
- b) El programa habrá de ser fácil de utilizar y deberá, en su caso, poder adaptarse al nivel de conocimientos y de experiencia del usuario; no deberá utilizarse ningún dispositivo cuantitativo o cualitativo de control sin que los trabajadores hayan sido informados y previa consulta con sus representantes.
- c) Los sistemas deberán proporcionar a los trabajadores indicaciones sobre su desarrollo.
- d) Los sistemas deberán mostrar la información en un formato y a un ritmo adaptados a los operadores.

- e) Los principios de ergonomía deberán aplicarse en particular al tratamiento de la información por parte de la persona.

## 13.3. Condiciones de especificaciones técnicas

### 13.3.1. Hardware

Para la realización de este trabajo se requiere de un hardware capaz de soportar todos los procesos que se han de llevar a cabo. Esto ha de poder hacerlo “holgadamente”, pues se realizan gran cantidad de simulaciones que llevan un gran tiempo. Los requisitos más concretos de todo el software empleado los presenta PEGASUS.

PEGASUS solicita que el ordenador o máquina que lo ejecute tenga, de mínimos: un procesador Intel Pentium-n de, al menos, 350 MHz de velocidad, 60 MB de disco duro disponible para la instalación, al menos 1 GB de disco duro disponible para el procesamiento de datos, con 5 GB recomendados, así como 128 Mb de memoria RAM disponibles, recomendándose 256 Mb para mejor funcionamiento. En mi caso se ha empleado un ordenador MSI que cumple todas las especificaciones mencionadas.

### 13.3.2. Software

En lo referente a los diferentes programas utilizados, el mayor problema lo ha supuesto el total desconocimiento de PEGASUS con el que se partía al inicio de la realización del Trabajo. A esto se puede añadir la dificultad de acceder a sus módulos o los problemas que ya se han descrito en la sección de Memoria. Tras mucho consultar los manuales de PEGASUS y ayuda encontrada en internet, se ha conseguido hacer funcionar de manera correcta PEGASUS y se ha podido postprocesar los datos que se buscaban. A su vez, todo el trabajo con los archivos RINEX ha supuesto un proceso tedioso y largo.

Los programas empleados para la realización de este Trabajo son:

- PEGASUS 4.8.4 y sus módulos Convertor, GNSS Solution y MFile Runner.
- Hatanaka
- TEQC
- PAG 1.3
- WinSCP
- Navegador web Google Chrome
- Adobe Acrobat Reader DC
- Microsoft Word
- Microsoft PowerPoint

- Microsoft Excel
- Línea de comandos CMD de la consola MS-DOS de windows
- Editor de textos
- SBAS Teacher
- SBAS Mentor
- SISNET User
- SISNET Lab
- Google Drive
- Dropbox

### 13.3.3. Conexión a Internet

Para poder proceder correctamente con el proyecto, la conexión a internet se ha antojado fundamental y un elemento imprescindible. Su principal uso ha consistido en el acceso a la información, tanto de conocimiento como de procesado, sirviéndonos de él para la descarga de los ficheros RINEX, archivos SBAS del FTP de EDAS, todos los softwares libres que han sido necesarios, búsqueda de manuales de uso e instrucciones.

### 13.3.4. Conocimientos previos

Es necesario tener un grado de conocimiento avanzado en materia de navegación aérea, validación y certificación de los procedimientos GNSS. Un conocimiento de los posibles formatos de mensajes de navegación que se obtienen de los satélites. Más generalmente, también es necesario el conocimiento del sector aeronáutico, particularmente en el sector de aeronavegación para poder hacer frente a los documentos oficiales que diferentes organizaciones internacionales publican y poder finalmente analizar los datos obtenidos de las simulaciones con PEGASUS.

Se desprende de esto la importancia de tener un nivel alto de inglés para poder comprender la totalidad de los documentos utilizados, pues en su mayoría no cuentan con una versión en castellano.

Finalmente, destacar los conocimientos necesarios de informática para poder emplear parte del software de procesado y ser capaz de organizar los datos de una manera cómoda y de fácil acceso, reduciendo así los tiempos.

### 13.3.5. Material adicional

Resulta importante el acceso a documentos particulares del tema, provenientes de instituciones oficiales en muchos casos. Es posible, y siempre manteniendo un nivel de graduado, que algunos documentos requieran de un pago (esto sólo sería necesario en caso de querer profundizar en un alto grado en el trabajo).

### 13.3.6. Supervisión

La persona que se erige como supervisor debe de tener un conocimiento profundo en la materia de certificación y validación de procedimientos GNSS, así como en poner en práctica proyectos que se asocien a este campo con estudiantes. La supervisión ha de ser constante, de tal manera que el alumno pueda seguir las indicaciones pertinentes cuando se encuentre incapaz de avanzar con el material de que dispone.



### III. PRESUPUESTO

# 14. Presupuesto

## 14.1. Introducción

En este apartado se va a describir todo el gasto que la realización del Proyecto: *Validación y diseño de procedimientos SBAS. Análisis de la metodología operacional en ensayo de vuelo y su aplicación en procedimientos RNAV* supone. De desglosará para poder apreciar y diferenciar los gastos de material, software, personal y de oficina. De manera más precisa, hablamos de los costes de software y personal que se ha necesitado para mantenerlo funcionando.

Todos los costes aplicados se corresponden con tarifas legales en vigor, estimando de manera coherente siempre que se ha necesitado una aproximación. Los precios no incluyen IVA puesto que se trata de un trabajo destinado a investigaciones internas. En caso de realizarse para un ente externo a la universidad, si se le aplicaría el mencionado IVA, así como gastos generales y beneficio económico.

El coste de amortización se puede calcular como:

$$a = \frac{VC - VR}{n}$$

$$t_h = \frac{a}{h}$$

Donde:

a: amortización en euros/año.

VC: valor de compra, en euros.

VR: valor residual al cabo del periodo de amortización, en euros.

n: periodo de amortización, en años.

$t_h$ : tasa horaria, en euros/hora.

h: horas trabajadas al año.

Los precios unitarios correspondientes al personal se calculan como:

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = \left( \frac{\text{semanas}}{\text{año}} - \frac{\text{semanas vacaciones}}{\text{año}} \right) \cdot \frac{\text{horas trabajadas}}{\text{semana}}$$

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = (52 - 6) \cdot 40 = 1840 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{\text{Salario bruto anual}}{\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}}}$$

## 14.2. Estado de mediciones

Se describen a continuación los recursos que se han necesitado para realizar el presente trabajo.

Descripción	Unidades
Ordenador portátil MSI	1
Licencia Microsoft Office 2016	1
Licencia PEGASUS 4.8.4	1
Licencia Hatanaka	1
Licencia TEQC	1
Licencia WinSCP	1

Figura 14.1: Conjunto de equipos informáticos y Software.

Descripción	Unidades
Ordenador portátil Asus	1

Figura 14.2: Montaje e instalación del equipo informático.

Descripción	Unidades
PEGASUS 4.8.4	1
Hatanaka	1
TEQC	1
WinSCP	1
Microsoft Office 2016	1

Figura 14.3: Instalación del software específico.

Descripción	Unidades
Profesor titular	1
Ingeniero Superior	1

Figura 14.4: Personal específico para el desarrollo del proyecto.

Descripción	Unidades
Oficina	1
Permisos de oficina	1
Seguro de oficina	1

Figura 14.5: Oficina para la ubicación de los elementos y desarrollo del proyecto.

## 14.3. Desglose de costes unitarios

### 14.3.1. Coste de material y software unitario

#### Equipo informático

- Ordenador portátil. Con un valor residual del 20% y un periodo de amortización de un 1 año.

$$a = \frac{1070 - 214}{1} = 856$$

$$t_h = \frac{856}{1840} = 0.47 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

#### Software

Contemplaremos el coste de las licencias como coste anual, igual que su amortización, de sólo un año y sin valor residual.

- Licencias de PEGASUS 4.8.4, Hatanaka, teqc y WinSCP. Todas ellas juntas pues su resultado es idéntico.

$$a = 0$$

$$t_h = 0 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

- Licencia Microsoft Office 2016. Este servicio tiene un coste anual de 51 euros.

$$a = \frac{51}{1} = 51$$

$$t_h = \frac{51}{1840} = 0.028 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

### 14.3.2. Coste de personal cualificado

- Coste asociado al Profesor Titular

$$\text{Salario bruto anual} = 35000 \frac{\text{euros}}{\text{año}}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{35000}{1840} = 19.02 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

- Coste asociado al Ingeniero Superior

$$\text{Salario bruto anual} = 22000 \frac{\text{euros}}{\text{año}}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{22000}{1840} = 11.96 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

### 14.3.3. Coste de oficina unitario

El presente trabajo ha tenido lugar en Escuela Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica situada en la Universitat Politècnica de València. En Valencia, el coste unitario medio de una oficina de tamaño medio es de aproximadamente 950 euros mensuales. En estos gastos se asocian los gastos de luz, agua, seguro y la climatización del mismo. Este gasto se divide a su vez entre el número de personas que están trabajando en la oficina, siendo nuestro caso 3, resultando un total de 316.17€ por persona. La realización del proyecto ocupa un total de 4 meses, lo que resulta en:

$$\text{Coste mensual oficina} = \frac{950}{3} = 316.17 \frac{\text{euros}}{\text{mes}}$$

$$\text{Coste total} = 316.17 \frac{\text{euros}}{\text{mes}} \cdot 4 \text{ meses} = 1266.67 \text{ euros}$$

## 14.4. Desglose de costes totales

### 14.4.1. Coste de material y software total

Descripción	Horas	Importe (euros)
Ordenador portátil	300	141
Licencia PEGASUS 4.8.4	300	0
Licencia Hatanaka	300	0
Licencia TEQC	300	0
Licencia WinSCP	300	0
Licencia Microsoft Office 2016	300	8.4
<b>Total</b>	-	<b>149.4</b>

Figura 14.6: Coste de material y software total.

#### 14.4.2. Coste de personal cualificado total

Descripción	Horas	Importe (euros)
Profesor Titular	100	1902
Ingeniero Superior	20	239.2
<b>Total</b>	-	<b>2141.2</b>

Figura 14.7: Coste de personal cualificado total.

#### 14.4.3. Coste de oficina total

Descripción	Meses	Importe (euros)
Alquiler de oficina	4	1266.67
<b>Total</b>	-	<b>1266.67</b>

Figura 14.8: Coste de oficina total.

#### 14.5. Resumen del presupuesto total

Cantidad	Subtotal (euros)
Coste de material y software	149.4
Coste de personal cualificado	2141.2
Coste de oficina	1266.67
<b>Coste total proyecto</b>	<b>3557.27</b>

Figura 14.9: Resumen presupuesto total.

Resultando todo esto en un presupuesto total de TRES MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y SIETE EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS.



## IV. BIBLIOGRAFÍA

## Bibliografía

- [1] ESSP, EGNOS User Support.  
[https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/](https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/)
- [2] ESSP. *EGNOS Monthly Performance Report January 2017*. Enero 2017.
- [3] ESSP. *EGNOS Monthly Performance Report February 2017*. Febrero 2017.
- [4] ESSP. *EGNOS Monthly Performance Report March 2017*. Marzo 2017.
- [5] ESSP. *EGNOS Monthly Performance Report April 2017*. Abril 2017.
- [6] ESSP. *EGNOS Monthly Performance Report May 2017*. Mayo 2017.
- [7] ESSP. *EGNOS Monthly Performance Report June 2017*. Junio 2017.
- [8] ICAO Doc 9849 - *Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*. First Edition, 2005.
- [9] ICAO Doc 9613 – *Performance-Based Navigation Manual*. Third Edition, 2008.
- [10] ICAO Doc 8168 – *Aircraft Operations, Volume II. Construction of Visual and Instrument Flight*. Fifth Edition, 2006.
- [11] ICAO Annex. 6 – *Aircraft Operations, Volume I, International Civil Air Transport – Airplane*. Eighth Edition, julio 2001
- [12] ICAO Annex. 14 – *Airfields, Volume I. Airfield design and operations*. Fifth Edition, julio 2009.
- [13] GSA. *European Global Navigation Satellite Systems Agency*.  
<https://www.gsa.europa.eu/>
- [14] GSA. *EGNOS Safety of Life (SoL) Service Definition Document, version 3.0*. Septiembre 2015.
- [15] ESA. *European Space Agency*.  
<http://www.esa.int/ESA>
- [16] ENAIRE.  
<http://www.enaire.es/csee/Satellite/Home/es/>
- [17] EUROCONTROL. *PEGASUS, FTP EUROCONTROL*.

- [18] EUROCONTROL. *PEGASUS Converter User Manual*.
- [19] EUROCONTROL. *PEGASUS GBAS Tutorial*. Septiembre 2012.
- [20] EUROCONTROL. *PEGASUS Software User Manual*. Enero 2004.
- [21] EUROCONTROL. *PEGASUS Software Converter User Manual*. Enero 2004.
- [22] EUROCONTROL. *PEGASUS GNSS\_Solution Software User Manual*. Mayo 2011.
- [23] EUROCONTROL. *PEGASUS MFile Runner Software User Manual*. Marzo 2008.
- [24] EUROCONTROL. *Introducing Performance Based Navigation (PBN) and Advanced RNP (A-RNP)*. Enero 2013.
- [25] EUROCONTROL. *Performance-Based Navigation (PBN)*. Noviembre 2012.
- [26] IGN. *Instituto Geográfico Nacional*.  
<http://www.ign.es/web/ign/portal/inicio>
- [27] European Comision. *EGNOS Data Access Service (EDAS) service definition document*. 2014
- [28] European Comision. *EGNOS Open Service (OS) service definition document*. 2015.
- [29] GPSInformatio. *NMEA Data*.  
<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm#GGA>
- [30] Phd. Israel Quintanilla. *Apuntes del bloque III, Navegación Aérea. Grado en Ingeniería Aeroespacial. Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría*. Junio 2016.
- [31] SESAR Joint Undertaking  
<http://www.sesarju.eu/>
- [32] SESAR JU. *Introduction to the SESAR 2020 RPAS Definition Phase, Whorkshop 01*. Septiembre 2014.  
[http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/events/rpas-workshop/RPAS-workshop-2014-\\_Introduction\\_to\\_the\\_SESAR\\_2020\\_RPAS\\_Definition\\_Phase.pdf](http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/events/rpas-workshop/RPAS-workshop-2014-_Introduction_to_the_SESAR_2020_RPAS_Definition_Phase.pdf)
- [33] EC. *European Comission, Mobility and Transport. The SESAR Joint Undertaking*.  
[https://ec.europa.eu/transport/modes/air/sesar/sesar\\_undertaking\\_en](https://ec.europa.eu/transport/modes/air/sesar/sesar_undertaking_en)

- [34] Civil Aviation Safety Authority, Australian Government. *What is PBN?*  
<https://www.casa.gov.au/standard-page/what-performance-based-navigation-pbn>
- [35] Hispaviación. *Las aplicaciones de la PBN*.  
<http://www.hispaviacion.es/las-aplicaciones-de-la-pbn/>
- [36] Navipedia  
[www.navipedia.net](http://www.navipedia.net).
- [37] Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)  
<http://qzss.go.jp/en/index.html>
- [38] Indian Space Research Organisation  
<http://www.isro.gov.in/irnss-programme>
- [39] Earth Observation Portal  
<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/home>
- [40] Yuki Hatanaka. *A compression format and tools for gnss observation data*. 2008.
- [41] UNAVCO. *teqc Tutorial: Basics of Teqc Use and Teqc Products*. Edición 2015.
- [42] María del Carmen Furquet Gascón, Israel Quintanilla. *TFG: Estudio y análisis de la certificación y diseño de un SBAS (Satellite Based Augmentation System) para aeropuertos/heliódromos*. Julio de 2016.
- [43] Carlos Martínez Martínez, Israel Quintanilla. *TFG: Certificación de sistemas de navegación GNSS: SBAS y GBAS aplicado a aeropuertos/helipuertos*. Julio 2016.