

Universidad Pública de Navarra

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA LA PREDICCIÓN DE LA
PRECIPITACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA G.P.S.**

.....

presentado por

XABIER ARCHANCO URROZ

.....(e)k

aurkeztua

**INGENIERO AGRONOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA**

Julio, 2011 / 2011ko, uztaila

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIERÍA RURAL

TRABAJO FIN DE CARRERA: INGENIERO AGRÓNOMO



“ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA G.P.S.”



Codirectores:

Dr. D. Andrés Seco Meneses

Autor:

D. Xabier Archanco Urroz

Dr. D. Francisco Ramírez Chasco

Julio 2011

AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mis agradecimientos por la elaboración de este Trabajo Fin de Carrera (T.F.C.) en primer lugar al tutor del mismo, el Dr. D. Andrés Seco Meneses, por su ayuda y paciencia a lo largo de la elaboración del mismo. Quisiera agradecerle también la posibilidad que se me ha brindado a la hora de colaborar con su grupo de investigación.

Así mismo quiero destacar la ayuda de las personas que integran ese nombrado grupo de investigación y a los miembros del Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, haciendo una mención especial a Eduardo Prieto Cobo, ya que fue la persona que me introdujo en este grupo.

Agradecer también al Dr. Beñat G. Gracianteparaluceta y al profesor Jose Enrique Priego De los Santos de la Universidad Politécnica de Valencia, personas sin las cuales este proyecto no habría salido adelante.

También me gustaría demostrar mi más sincero agradecimiento a mis compañeros becarios del departamento, en especial a Edu. Agradecerles su apoyo desde el comienzo y el haberme mostrado todos los conocimientos que tenían sobre el tema.

Por último, pero no por ello menos importante, quisiera agradecer a mi familia que siempre me ha estado apoyando en los momentos de mayor estrés y me ha dado ánimos para seguir adelante y no rendirme, a mis amigos y en especial a Lorea, persona sin la cual todo lo realizado hasta la fecha habría sido mucho más duro y costoso.

RESUMEN

El presente trabajo final de carrera consiste en la validación de la tecnología G.P.S. como herramienta meteorológica y su utilización en estudios de series históricas de precipitación en la Comunidad Valenciana a partir de las cuales pretendemos evaluar una serie de patrones que permitan utilizar dicha tecnología como herramienta de predicción meteorológica.

El periodo de estudio se limitó a los años del 2001 al 2009, excluyendo el año 2005 ya que no se poseen datos meteorológicos del mismo, periodo en el cual se evaluó el comportamiento del agua precipitable atmosférica (dato obtenido directamente mediante procesado de los datos RINEX del GPS), junto con las variables meteorológicas de precipitación y presión atmosférica (obtenidas de los registros de estaciones meteorológicas).

Así pues mediante dicha tecnología se va a tratar de explicar cuál fue la causa por la cual se produjeron dichas precipitaciones durante el periodo asignado y de esta manera, intentar predecir el momento en el que se va a producir la lluvia y establecer una serie de patrones que identifiquen la ocurrencia de dicho fenómeno meteorológico.

El fundamento de la tecnología GPS viene motivado por el retraso que sufre la señal GPS a su paso por la atmósfera desde que la señal sale del satélite hasta que llega al receptor GPS. El retraso de esta señal se denomina Retraso Cenital Total (ZTD) y se descompone en el retraso cenital hidrostático (ZHD) y el retraso cenital húmedo (ZWD). Es el ZWD en el que se va a basar este estudio, el cual es función del vapor de agua que hay en la atmósfera y a partir del cual se puede obtener valores de agua precipitable de la atmósfera.

ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA
G.P.S.

RESUMEN

Autor: Xabier Archanco Urroz

ÍNDICE

1.	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	9
1.1	INTRODUCCION	11
1.2	ANTECEDENTES	11
1.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GPS	14
1.3.1	SEGMENTO ESPACIAL	14
1.3.2	SEGMENTO CONTROL	18
1.3.3	SEGMENTO USUARIO	19
1.4	EL TIEMPO GPS	19
1.5	EMISIONES DE RADIOFRECUENCIA GPS	20
2.	RETRASO DE LA SEÑAL G.P.S. Y ESTIMACIÓN DE LA VARIABLE P.W.	23
2.1	INTRODUCCIÓN	25
2.2	MODELIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL RETRASO ATMOSFÉRICO	27
2.2.1	RETRASO CENITAL TOTAL (ZTD)	28
2.2.2	RETRASO CENITAL HIDROSTÁTICO (ZHD) O RETRASO IONOSFÉRICO	30
2.2.3	RETRASO CENITAL HÚMEDO (ZWD) O RETRASO TROPOSFÉRICO	32
2.3	RELACIÓN ENTRE ZTD, ZWD Y P.W.	33
3.	PRECIPITACIONES INTENSAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA	35
3.1	INTRODUCCIÓN	37
3.2	TIPOS LLUVIAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA	37
3.3	GOTA FRÍA	38
3.4	PRECIPITACIONES INTENSAS	40
4.	OBJETIVOS	45
4.1	OBJETIVOS	47
5.	ESTADO DEL ARTE	49
5.1	ESTADO DEL ARTE	51

ÍNDICE	Autor: Xabier Archanco Urroz
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
6.1 MATERIALES	57
6.1.1 ESTACIONES GPS Y OBTENCIÓN DATOS.....	57
6.1.2 RADIOSONDEOS (RS).....	60
6.1.3 DATOS METEOROLÓGICOS.....	61
6.2 METODOLOGÍA.....	62
6.2.1 PUESTA A PUNTO DE LOS RINEX	62
6.2.2 PROCESADO DE LOS DATOS: GAMIT 10.40	63
6.2.3 ANÁLISIS DE LA PROBABILIDAD DE LLUVIA	66
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
7.1 DESCRIPCIÓN DE PASOS PREVIOS AL ESTUDIO	69
7.2 VALIDACIÓN DEL PW-GPS	70
7.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE PRESIÓN Y PRECIPITACIÓN FRENTE AL PW-GPS	77
7.4 ESTUDIO DE LA PROBABILIDAD DE LLUVIA MEDIANTE LA RELACIÓN PRESIÓN, PRECIPITACIÓN Y PW-GPS.....	96
8. CONCLUSIONES Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	105
8.1 CONCLUSIONES	107
8.2 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	108
9. BIBLIOGRAFÍA.....	111
9.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PÁGINAS WEB	113
ANEXO I. GAMIT 10.34	
ANEXO II. REPITE	
ANEXO III. FICHAS DE LAS ESTACIONES GPS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo gráfico del funcionamiento G.P.S.....	11
Figura 2 Disposición mecánica de la unidad procesadora de recepción. Fuente: ITT Avionics Division, Nutley, N.J. USA.	12
Figura 3 Ejemplo de los 3 segmentos que componen el GPS	14
Figura 4 Imagen de las órbitas y satélites. Constelación NAVSTAR	14
Figura 5 Satélite GPS	15
Figura 6 Ejemplo de bloque I.....	15
Figura 7 Ejemplo de satélite del bloque II.....	16
Figura 8 Lanzadera Delta II	17
Figura 9 Bloque IIR	18
Figura 10 Estaciones de seguimiento y control GPS	18
Figura 11 Ejemplos del retraso atmosférico que sufre la señal GPS.....	25
Figura 12 Retraso que sufre la señal a su paso a través de la atmósfera	27
Figura 13 Las funciones de mapeo transforman el retraso de la señal oblicuo en un retraso cenital.....	29
Figura 14 Génesis de una gota fría (Llasat, 1991)	39
Figura 15 Precipitación acumulada en la Comunidad Valenciana durante los días 11 y 12 de octubre de 2007 medida en l/m2.	41
Figura 16 Frecuencias absolutas de días de precipitación superior a 100 mm en el territorio analizado durante los años 1976 y 1990 (Armengot, 2002).	42
Figura 17 Frecuencia absoluta de días con precipitación superior a 100 mm en las 4 estaciones climatológicas en el periodo 1976-90: a) verano (junio-agosto); b) otoño (septiembre-octubre); c) invierno (diciembre-febrero); d) primavera (marzo-mayo) (Armengot, 2002).....	44
Figura 18 Localización de 13 (todas menos las dos del IGS) de las estaciones de referencia GPS procesadas en la Península Ibérica	59
Figura 19 Representación de la línea-base creada para este estudio.....	59
Figura 20 Lanzamientos de RS existentes en Europa. Departamento de Ciencia Atmosférica de la Universidad de Wyoming.	60
Figura 21 Distancias de las estaciones meteorológicas de Manises y viveros a las estaciones GPS de VALE y VCI A.....	62
Figura 22 Explicación del “efecto edge”. En azul las horas seleccionadas para formar parte de los datos del día dos, en blanco las que se desechan.	64
Figura 23 Distancia entre las dos estaciones GPS de la ciudad de Valencia	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Mensaje de navegación	21
Tabla 2 Resumen de los errores típicos de un GPS y un GPS diferencial. La tabla muestra las fuentes típicas de error, expresadas en milímetros (por satélite).....	26
Tabla 3 Precipitaciones que superan los 150 l/m ² registradas en el observatorio de Valencia “Viveros”	41
Tabla 4 Descripción de las coordenadas geográficas sexagesimales de las 14 estaciones de referencia GPS procesadas.....	58
Tabla 5 Código, ubicación y distancia de las estaciones de RS con sus correspondientes GPS..	61
Tabla 6 Código, ubicación y distancia de las estaciones meteorológicas a las GPS	61
Tabla 7 Exposición de los valores medios, desviación típica, máximo y mínimo de las variables PW y presión en los años de estudio y del nº y volumen de datos con el que se ha operado cada mes. También la precipitación acumulada en el periodo de estudio.....	79
Tabla 8 Representación de los valores muy altos, altos, medios, bajos y muy bajos para las variables estudiadas (PW y presión)	81
Tabla 9 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 15, 16 y 17.....	84
Tabla 10 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 18, 19 y 20.....	86
Tabla 11 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 21 y 22	89
Tabla 12 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 23, 24, 25 y 26.....	93
Tabla 13 Resumen de los resultados.....	95
Tabla 14 Resultados de probabilidad de lluvia para cada mes obtenidos de matlab.....	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Comparación del PW obtenido en las dos estaciones valencianas	70
Gráfico 2 Series de PW-GPS en verde y PW-RS en azul correspondientes a la ciudad de Zaragoza para el periodo de estudio 2007-2008. Unidades en mm	71
Gráfico 3 Series de PW-GPS en verde y PW-RS en azul correspondientes a la ciudad de Mallorca para el periodo de estudio 2006-2009. Unidades en mm	71
Gráfico 4 Series de PW-GPS en verde y PW-RS en azul correspondientes a la ciudad de Murcia para el periodo de estudio 2006-2009. Unidades en mm	72

Gráfico 5 Correlación entre los datos PW-GPS y PW-RS de la estación ZARA. Unidades en mm	72
Gráfico 6 Correlación entre los datos PW-GPS y PW-RS de la estación de MALL. Unidades en mm	73
Gráfico 7 Correlación entre los datos PW-GPS y PW-RS de la estación de MURC. Unidades en mm	73
Gráfico 8 Diferencia entre los datos de PW-GPS y PW-RS de la estación de ZARA.	74
Gráfico 9 Diferencia entre los datos de PW-GPS y PW-RS de la estación de MALL.	74
Gráfico 10 Diferencia entre los datos de PW-GPS y PW-RS de la estación de MURC.....	75
Gráfico 11 Representación de la estacionalidad del PW y de la presión a lo largo del año	78
Gráfico 12 Precipitación acumulada en la estación meteorológica de Viveros, Valencia, para el periodo de estudio 2001-2009 (excepto 2005).....	80
Gráfico 13 Representación gráfica de los valores de PW muy altos, altos, medios, bajos y muy bajos.	81
Gráfico 14 Representación gráfica de de los valores de presión muy altos, altos, medios, bajos y muy bajos.	82
Gráfico 15 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 2-mayo-2004	83
Gráfico 16 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 26-febrero-2006	83
Gráfico 17 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 13-diciembre-2009	84
Gráfico 18 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 5-enero-2002.....	85
Gráfico 19 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 5-mayo-2006	86
Gráfico 20 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 31-agosto-2006.....	86
Gráfico 21 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 7-noviembre-2006.....	89
Gráfico 22 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 21-septiembre-2007	89
Gráfico 23 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 19-septiembre-2001.....	91
Gráfico 24 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 18-octubre-2006.....	92

Gráfico 25 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 11- octubre-2007.....	92
Gráfico 26 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 8- julio-2009	93
Gráfico 27 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de enero	98
Gráfico 28 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de febrero.....	98
Gráfico 29 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de marzo.....	98
Gráfico 30 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de abril.....	98
Gráfico 31 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de mayo.....	99
Gráfico 32 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de junio.....	99
Gráfico 33 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de julio	99
Gráfico 34 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de agosto.....	99
Gráfico 35 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de septiembre	100
Gráfico 36 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de octubre	100
Gráfico 37 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de noviembre	100
Gráfico 38 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de diciembre.....	100
Gráfico 39 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de octubre, observando la tendencia de la precipitación.....	102

ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

\bar{x}	Media
.xls	Archivo de Libro de Excel 97-2003
.xlsx	Archivo de Libro de Excel 2009
AEMET	Agencia Estatal de MET eorología
AMMA	African Monsoon Multidisciplinary Analysis
AUTONAV	modo AUTÓ nomo de NAV egación
C/A	código C lear A ccess
CEAM	C entro de E studios A mbientales del M editerráneo
COST716	C o- O peration in S cience and T echnology A ction 716
Cs	C esio
DANA	D epresión A islada en N iveles A ltos
DoD	D epartamento de D efensa de los EE.UU.

ÍNDICE

Autor: Xabier Archanco Urroz

EE UU	Estados U nidos
E-GVAP	E UMENET EIG G NSS water V APor programme
ERVA	Red de Estaciones GNSS de R referencia de V alencia
ETRS-89	E uropean T errestrial R eference S ystem 1989
EUMENET	N ETwork of E Uropean M eteorological S ervices
FTP	F ile T ransfer P rotocol
GFZ	G eo F orschungs Z entrum
GMF	G lobal M apping F unction
GNSS	G lobal N avigation S atellite S ystem
GPS	G lobal P ositioning S ystem
HIRLAM	H igh R esolution L imited A rea M odel
HR	H umedad R elativa
I3B	I Bermática
ICV	Intituto C artográfico V alencia
IGN	Instituto G eográfico N acional
IGS	International G PS S ervice for Geodynamics
IPWV	Integral P recipitable W ater V apor
ITACYL	Instituto T écnico A grícola de C astilla y L eón
JD	J ylian D ay
k	Coefficiente encargado de relacionar el ZWD con el PW
K	grados K elvin
LIDAR	L ight D etection A nd R anging o L aser I maging D etection A nd R anging
LORAN	L ong R ange N avigation
MAGIC	M eteorological A pplication of G PS I ntegrated C olumn water vapor measurements in the wester mediterranean
MATLAB	M ATrix L ABoratory
mbar	milibares
mm	milímetros
N	refractividad
NAVSAT	N AVigation S ATellite S ystem
NMF	N ielli M apping F unction
NRT	N ear R eal T ime
NWM	N umerical W eather M odels

ÍNDICE

Autor: Xabier Archanco Urroz

NWP	N umerical W eather P rediction
PRN	Código pseudo-aleatorio del satélite
PW	P recipitable W ater
PW-GPS	P recipitable W ater- G lobal P ositioning S ystem
PW-RS	P recipitable W ater- R adio S ondeo
QZSS	Q uasi- Z enith S atellite S ystem
RGAN	R ed de G eodesía A ctiva en N avarra
RINEX	R eceiver I Ndependent E Xchange format
RS	R adio S ondeo
SVN	Número NAVSTAR
TEC	T otal E lectron C ontent
TOUGH	T argeting O ptimal U se of G PS H umidity measurements in meteorology
UE	U nión E uropea
USERE	U ser E quivalent R ange E rror
UTC	U niversal C oordinated T ime
VLBI	V ery L ong B aseline I nterferometry
WVR	W a V elengh R adiometer o W ater V apour R adiometer
ZHD	Z enit H idrostatic D elay
ZTD	Z enit T otal D elay o Z enit T ropospheric D elay
ZWD	Z enit W et D elay
σ	Desviación típica

1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

1.1 INTRODUCCION

El sistema de posicionamiento global es en origen un sistema militar de radionavegación por satélite que provee a usuarios de coordenadas precisas de posicionamiento tridimensional e información sobre navegación y tiempo, desarrollado por el Departamento de Defensa de los EE.UU (DoD) en 1973. Su finalidad era poner a disposición del ejército norteamericano un sistema de navegación preciso que sustituyera al sistema Transit y unificara los diferentes sistemas de navegación desarrollados desde la década de 1960 hasta entonces.

Frente al sistema Transit que se basaba en mediciones Doppler, el sistema GPS aprovecha las condiciones de propagación de las ondas de radio en el espacio y la posibilidad de modulación de mensajes en las mismas, para posicionar los objetos en el espacio.



Figura 1 Ejemplo gráfico del funcionamiento G.P.S

El sistema GPS se basa en resolver una trilateración inversa en el espacio (conocidas las coordenadas de al menos 3 satélites se determinan las coordenadas del receptor). Básicamente consiste en la determinación de pseudodistancias, satélite-receptor a través de la medición del tiempo.

1.2 ANTECEDENTES

Fue a mediados del siglo XX cuando científicos descubren que las señales de radio pueden ser empleadas para la medición de distancias.

LORAN (LOng RANGE Navigation), fue el primer sistema de navegación basado en las ondas de radio entrando en funcionamiento en 1950. Cubriendo un área aproximada de

750 Km, cada cadena LORAN estaba formada por, al menos cuatro transmisores, situados en puntos de coordenadas conocidas.

Cada LORAN emitía en una frecuencia específica, de manera que el receptor obtenía sus coordenadas a partir de la determinación de la distancia a cada uno de los emisores.

Tres grandes inconvenientes eran los presentados por el sistema LORAN:

- ✓ La cobertura del sistema estaba limitada al 5% de la superficie de la tierra aproximadamente donde se habían instalado los emisores por lo que era un sistema local. Este sistema se empleó sobre todo en la navegación en zonas con intenso tráfico marítimo.
- ✓ Las características del sistema permitían únicamente la determinación de coordenadas sobre la superficie en 2D, lo que impedía el empleo del sistema por ejemplo en la navegación aérea.
- ✓ La precisión de las coordenadas determinadas con el sistema LORAN era de unos 250 m.

El sistema LORAN sigue actualmente operativo en las costas de los EE.UU, Canadá y en Rusia (sólo en el estrecho de Bering). En la actualidad este sistema puede llegar a precisiones de 50 m usando el sistema en modo de repetición de las diferencias de tiempo.

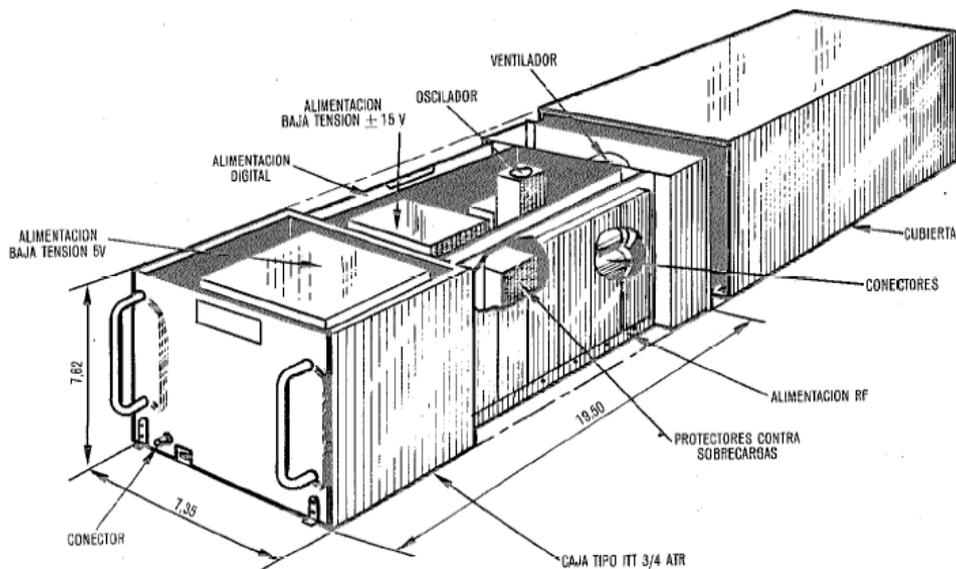


Figura 2 Disposición mecánica de la unidad procesadora de recepción. Fuente: ITT Avionics Division, Nutley, N.J. USA.

A mediados de la década de los sesenta del pasado siglo fue desarrollado el Navy's NAVigation SATellite System (NAVSAT), más conocido como TRANSIT. Éste fue el primer

sistema de posicionamiento por satélite operativo y fue desarrollado para proporcionar coordenadas más precisas a los barcos y submarinos de los EE.UU.

El sistema estaba constituido por 6 satélites con un periodo de órbita de 90 minutos y podía determinar coordenadas con una precisión de 200 m, basándose en la medición del efecto Doppler de la señal de los satélites.

TRANSIT estaba limitado por la baja precisión de las coordenadas obtenidas y la imposibilidad de su empleo salvo cuando los satélites estaban disponibles. Sin embargo el paso de estaciones de referencia terrestres del sistema LORAN al empleo de satélites supuso un gran cambio y sentó las bases para el futuro desarrollo del GPS.

Aunque el principio para la determinación de las coordenadas del receptor sigue siendo la medición de las distancias a las estaciones de referencia, los sistemas espaciales presentan una serie de características propias frente al uso de estaciones terrestres:

- ✓ Las estaciones de referencia ya no están fijas sino que se encuentran en continuo movimiento. Ello implica la necesidad de tener los satélites perfectamente controlados en sus órbitas prediciendo, en función de su movimiento esperado, la posición en la que se encontrará cada satélite en un momento dado.
- ✓ Es posible la determinación de altitudes de la misma manera que se obtienen las coordenadas en planta.
- ✓ Un sistema de estas características permite su uso global.

El sistema TRANSIT se mantuvo operativo hasta 1996 en que fue definitivamente sustituido por el GPS.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GPS

El sistema GPS se puede descomponer en tres segmentos diferenciados:

- ✓ Segmento espacial
- ✓ Segmento control
- ✓ Segmento usuario

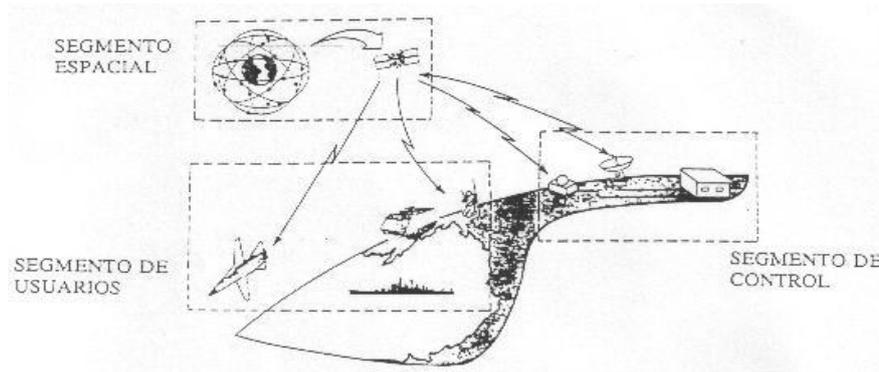


Figura 3 Ejemplo de los 3 segmentos que componen el GPS

1.3.1 SEGMENTO ESPACIAL

Este segmento está formado por los satélites que forman la constelación NAVSTAR. Ésta se encuentra formada por al menos 21 satélites operativos más tres de reserva situados en seis planos orbitales inclinados 55° sobre el Ecuador denominados A,B,C,D,E y F. En cada uno de estos planos orbitales se encuentran cuatro satélites aunque puede haber más. La altura de dichas órbitas sobre el geocentro es de 20,166 Km y el tiempo invertido por cada satélite en completar su órbita es de 11 horas y 58 minutos. Esta configuración de la constelación garantiza la presencia de al menos cuatro satélites sobre el horizonte veinticuatro horas al día en cualquier parte del mundo.



Figura 4 Imagen de las órbitas y satélites. Constelación NAVSTAR

Los satélites de la constelación NAVSTAR pueden ser identificados de varias maneras:

- ✓ Por su número NAVSTAR (SVN).
- ✓ Por su código pseudo-aleatorio (PRN).
- ✓ Por su número orbital. Consta de una letra que identifica el plano orbital y un número que identifica al satélite.

En la siguiente figura se puede observar un satélite de la última generación en funcionamiento.



Figura 5 Satélite GPS

El lanzamiento de satélites comenzó en febrero de 1978. Entre 1978 y 1989, se produjeron los lanzamientos de los satélites de primera generación, los bloques I, los cuales fueron prototipos que permitieron validar el concepto GPS. Un total de 11 satélites fueron construidos por Rockwell International y fueron lanzados desde California (un lanzamiento falló). Aunque se diseñaron originalmente para tener una vida de 4 años y medio, muchos de ellos operaron durante más tiempo, uno de ellos 13 años. Su peso era de 845 kg y estaban alimentados por paneles solares de 400W. Todos ellos estuvieron abiertos para uso civil.

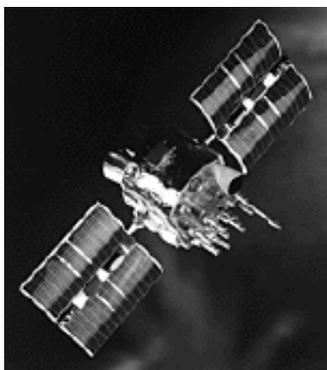


Figura 6 Ejemplo de bloque I

En la actualidad se encuentran en órbita los satélites de la segunda generación (bloques II, IIA y IIR) cuyo lanzamiento comenzó en 1989. Cada satélite pesa aproximadamente 900 Kg y tiene una envergadura de unos 5,5 m con los paneles solares desplegados.

La constelación de 24 satélites se completó en 1994 aunque desde entonces no se ha dejado de enviar satélites para sustituir aquellos que dejaban de ser operativos.

El bloque II de satélites corresponde a aquellos que tienen SVN entre 13 y 21. Este bloque de satélites está diseñado para funcionar durante 14 días sin contacto terrestre desde el segmento de control. El bloque IIs fue lanzado entre febrero de 1989 y octubre de 1990. Estos satélites se beneficiaron de la experiencia acumulada con el bloque I (por ejemplo se lanzaron con una protección más segura de los equipos de memoria RAM contra los rayos cósmicos). Este bloque constó de 9 satélites, el primero de los cuales se lanzó desde Cabo Cañaveral en 1979. Su peso era de 1500 kg y la potencia suministrada por los paneles solares era de 750 W. Su diseño preveía una vida media de 6 años, pero uno de ellos llegó a ser funcional durante más de 16 años (Octubre 1990 hasta Marzo 2007).



Figura 7 Ejemplo de satélite del bloque II

El bloque IIA incluye a los satélites con SVN de 22 a 40. Son la segunda serie de satélites operacionales. Fueron diseñados para funcionar durante 180 días sin comunicación desde el segmento control, aunque durante este periodo de tiempo es previsible la degradación de la precisión en el mensaje de navegación. Este bloque fue puesto en órbita entre noviembre de 1990 y noviembre de 1997. Se construyeron 19 satélites, de los cuales 15 todavía siguen estando operativos. Al igual que el bloque II fueron construidos por Rockwell International y la duración esperada de la misión es de 10 años.

El periodo de vida de diseño para los satélites de los bloques II y IIA es de 7,3 años. Cada uno incluye 4 relojes atómicos, 2 de rubidio y 2 de cesio y disponen de la capacidad de activar la S/A y el Anti-Spoofing que más adelante se comentarán. Las precisiones respectivas

de los osciladores de cesio y rubidio alcanzan los 10^{-13} y 10^{-12} s. La frecuencia fundamental de emisión de ambos tipos de osciladores es de 10,23 MHz. Estos satélites fueron lanzados desde Cabo Cañaveral por vehículos de lanzamiento medios Delta II (figura 8).



Figura 8 Lanzadera Delta II

El bloque IIR comprende los satélites con SVN entre 41 hasta 62 y han sido construidos por Lockheed Martin y su carga útil de navegación bajo una subcontrata con *ITT Aerospace/Communications*. Su periodo de funcionamiento sin contacto terrestre va desde los 14 días hasta los 180 cuando operan en modo autónomo de navegación (AUTONAV). La precisión se mantiene usando una técnica de posicionamiento y comunicación entre los satélites del bloque que sirve para actualizar los parámetros del mensaje de navegación de cada satélite sin contacto desde el sector control. La vida útil de diseño es de 7,8 años. Cada uno contiene 3 relojes atómicos de rubidio y al igual que el bloque anterior disponen de la capacidad de activar la S/A y el Anti-Spoofing. Hay dos versiones de satélites IIR: los IIR clásicos y los IIR modernizados (IIR-M). De los satélites de este bloque, 12 son clásicos. El primer lanzamiento de satélite de este bloque falló, el primero que consiguió llegar a órbita fue en 1997 y hoy en día se continúa con dichos lanzamientos. Los IIR-M incluyen un hardware más avanzado y un modo de transmisión de la señal más complejo que anticipa la tecnología de la siguiente generación. Actualmente hay tres IIR-M en órbita desde el lanzamiento del primero en 2005. La duración esperada de su misión es de 6 años.



Figura 9 Bloque IIR

El mantenimiento de los relojes de cesio (Cs) a bordo de los satélites de los bloques II y IIA requiere que al menos 2 veces al año se les inyecte desde el depósito de reserva que llevan una cantidad de Cs suplementaria para mantenerlos en condiciones de trabajo. Esta operación deja fuera de servicio al satélite durante unas 18 horas.

Una vez al año todos los satélites deben ser desplazados a su órbita original. Esto es debido a que los satélites tienden a “caer” hacia la Tierra debido a su campo gravitatorio. Esta operación requiere unas 12 horas durante las cuales los satélites están fuera de servicio.

1.3.2 SEGMENTO CONTROL

Este segmento GPS está formado por cinco estaciones de seguimiento localizadas a lo largo del mundo como puede verse en la figura 10. Estas estaciones se encuentran en Hawaii, Colorado Springs, Ascensión, Diego García y Kwajalein.

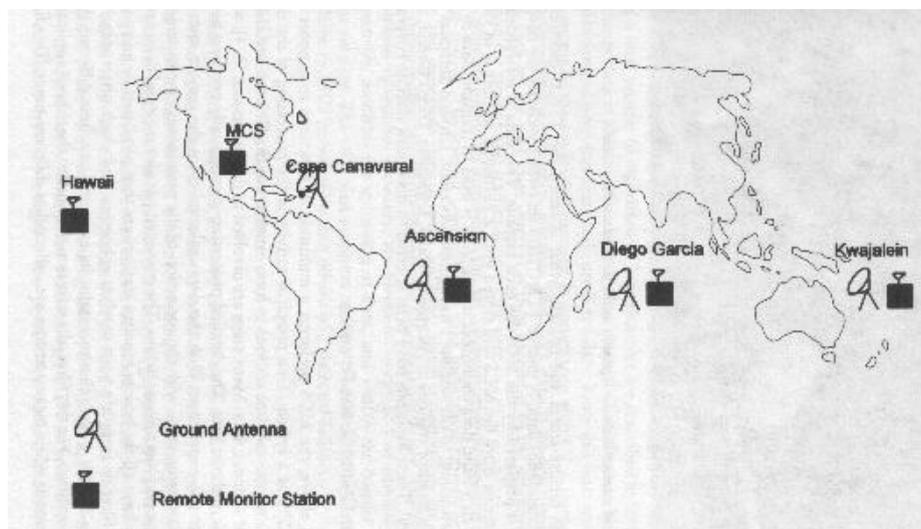


Figura 10 Estaciones de seguimiento y control GPS

Además de las estaciones citadas, existen otras estaciones de seguimiento (láser, ópticas y radar) cuya finalidad es el control de la posición rigurosa de los satélites para el cálculo de las efemérides precisas que más adelante se explican.

La información obtenida del seguimiento de los satélites es empleada en el control de los mismos y en la predicción de sus órbitas. Tres de estas estaciones (Ascensión, Diego García y Kwajalein) son empleadas tanto para el seguimiento como para la transmisión de información a los satélites.

La estación de control principal es la de Colorado Springs. Todos los datos registrados por las otras estaciones se envían aquí para su procesado y análisis. Las efemérides, las correcciones de los relojes y otros datos aquí calculados, son enviados a las estaciones emisoras para su transmisión a los satélites.

1.3.3 SEGMENTO USUARIO

Este segmento está constituido por todo el instrumental y software de cálculo que los usuarios ya sean civiles o militares emplean para la captación, almacenamiento y manipulación de la señal GPS. Un receptor estándar está compuesto por los siguientes elementos:

- ✓ Antena. Es el dispositivo cuya finalidad es la captación de la señal GPS y su transformación en un impulso eléctrico que contiene la información emitida por el satélite.
- ✓ Sensor. Recibe el impulso eléctrico generado en la antena y lo reconvierte en la información emitida por los satélites.
- ✓ Controlador. Este elemento controla al receptor, gestiona la observación y almacena los datos de la medición.

1.4 EL TIEMPO GPS

El tiempo utilizado por el sistema GPS es el tiempo universal coordinado UTC (USNO) definido por el observatorio naval de los EE.UU mediante relojes atómicos de hidrógeno. La unidad de tiempo GPS es el segundo atómico internacional y tiene su origen coincidente con el UTC (Universal Coordinated Time) a las 00:00 horas del día 6 de enero de 1980. El tiempo GPS es mantenido dentro del UTC con una precisión de 1 μ s.

El UTC es una unidad de tiempo que también es mantenida mediante relojes atómicos, pero con la salvedad de que, por definición, tiene que mantenerse con una diferencia máxima de 0,9 s en el UT1. Éste es definido en base al día solar medio corregido, y su duración es

variable en función de las irregularidades de rotación de la Tierra. Esta diferencia provoca que periódicamente el UTC deba ser ajustado al UT1, con lo que la diferencia en segundos entre el UTC (USNO) y el UTC también varía. El último de los ajustes del UTC se produjo el 1 de enero de 1999, siendo el desfase actual de 13 s.

1.5 EMISIONES DE RADIOFRECUENCIA GPS

Como se ha citado anteriormente los satélites llevan en su interior osciladores de cesio y/o rubidio. Éstos generan una frecuencia fundamental de 10,23 MHz. A partir de ésta se generan las dos frecuencias que emiten los satélites en la banda L denominadas L1 y L2.

L1 es el resultado de multiplicar la frecuencia fundamental por 154. Su frecuencia es de 1.575,42 MHz y su longitud de onda de 19,0 cm. Sobre ella se modulan los códigos C/A (Clear Access), también conocido como S (Standard) y el P (Precise), así como el mensaje de navegación.

L2 se obtiene de multiplicar la frecuencia fundamental por 120. Su frecuencia es de 1.227,6 MHz y su longitud de onda de 24,4 cm. En ella van modulados el código P y el mensaje de navegación.

La elección de las frecuencias L1 y L2 se basa en una serie de ventajas de las mismas:

- ✓ No requieren un alto coste energético para ser generadas ya que la potencia transmitida es menor a los 50W.
- ✓ La atmósfera es bastante permeable a las frecuencias de la banda L.
- ✓ Las perturbaciones ionosféricas se pueden eliminar en gran medida combinando medidas en las dos frecuencias.
- ✓ No son necesarias grandes antenas en los receptores de los usuarios.

Tanto los códigos C/A como P y el mensaje de navegación son códigos binarios constituidos por una secuencia compleja de ceros y unos. Los códigos C/A y P se repiten cada milisegundo y una semana respectivamente. La complejidad de sus secuencias les da una apariencia aleatoria que no lo es realmente, por ello algunos autores los denominan códigos pseudo-aleatorios.

El código C/A es una moduladora en L1 de la frecuencia fundamental dividido por diez, con una frecuencia aproximada de 1,023 MHz. El código C/A se repite cada milisegundo. Su longitud aproximada es de unos 293 m y ofrece precisiones decamétricas. Este código está declarado libre para su uso civil.

El código P se modula directamente sobre la frecuencia fundamental tanto en L1 como en L2. El código P se repite cada semana y su longitud es de 29,3 m. Las precisiones alcanzables son de orden métrico. El código P puede ser combinado con el código secreto W dando lugar al código Y, encriptado excepto para usuarios autorizados por el DoD.

El mensaje de navegación se modula sobre L1 y L2 con una frecuencia de 50 Hz. El mensaje de navegación está constituido por cinco celdas. En cada una de ellas se incluye la siguiente información:

CELDA 1	Informa del estado del reloj, la salud del satélite, la antigüedad de la información y otras indicaciones.
CELDAS 2 y 3	Contienen las efemérides radiodifundidas.
CELDA 4	Información sobre el modelo ionosférico para usuarios de una sola frecuencia e indica si está activado el A/S
CELDA 5	Almanaque.

Tabla 1 Mensaje de navegación

La duración total del mensaje es de 12 minutos y 30 segundos

En cuanto a las señales GPS modernas, destacaremos las siguientes:

- ✓ L2C (1227.6 MHz). Permitirá el desarrollo de receptores civiles de dos frecuencias, que permiten introducir una corrección a los errores de retardo en la ionosfera. Será interoperable con el sistema japonés Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)
- ✓ L5 (1176.45 MHz). Se trata de un servicio de radionavegación aeronáutica para labores de seguridad y salvamento. Será compatible con Galileo, GLONASS y QZSS, con el objetivo de ser interoperable. Se transmitirá su señal con más potencia que las señales civiles actuales y tendrá mayor ancho de banda. Su frecuencia más baja facilitará su utilización en interiores.
- ✓ L1C (1575.42 MHz). Obedece a un acuerdo entre EE.UU. Y la U.E. de tener una señal L1 compatible e interoperable con Galileo. Tendrá más potencia que la L1.
- ✓ Código M. Es el código militar modernizado. Empleará una modulación similar a la de la señal de Galileo.

2. RETRASO DE LA SEÑAL G.P.S. Y ESTIMACIÓN DE LA VARIABLE P.W.

2.1 INTRODUCCIÓN

Al igual que cualquier observación de topografía clásica, una observación GPS o GLONASS está sometida a varias fuentes de error que se pueden minimizar o modelar según los equipos y metodología de observación que se utilicen. Un receptor determina las distancias que hay entre su antena y las antenas de los satélites desde los cuales está recibiendo la señal. Basándose en estas distancias y en el conocimiento de las posiciones de los satélites, el receptor puede calcular su posición. Sin embargo, diversos errores afectan a la medida de la distancia y por consiguiente se propagan al cálculo de la posición del receptor.

Las medidas de código y las medidas de fase se ven afectadas por errores sistemáticos y por ruido aleatorio. La precisión en posicionamiento absoluto que un usuario puede alcanzar con un receptor depende principalmente de cómo sus sistemas de hardware y software puedan tener en cuenta los diversos errores que afectan a la medición. Estos errores pueden ser clasificados en tres grupos: los errores relativos al satélite, los errores relativos a la propagación de la señal en el medio, y los errores relativos al receptor.

ELEMENTO	FUENTE DE ERROR
Satélite	Errores en el oscilador
	Errores o variaciones en los parámetros orbitales
Propagación de la señal	Refracción ionosférica
	Refracción troposférica
	S/A. Disponibilidad Selectiva
	Pérdidas de ciclos
	Multipath. Ondas reflejadas
Receptor	Errores en el oscilador
	Error en las coordenadas del punto de referencia
	Error en el estacionamiento
	Error en la manipulación del equipo
	Variación y desfase del centro de la antena

De todos estos errores producidos en la toma de datos mediante GPS, el que es de utilidad a la hora de calcular el contenido en vapor de agua atmosférico es el de la refracción troposférica, el cual se detallará a continuación para una mejor comprensión, al ser este la base de nuestro estudio.



Figura 11 Ejemplos del retraso atmosférico que sufre la señal GPS

Sin embargo, la implantación de los métodos de medición diferenciales basados en la medida de la fase de las portadoras, ha permitido que el GPS sea empleado tanto en aplicaciones de baja como de alta precisión.

Para la determinación de la precisión de las medidas GPS se definió el UERE, (User Equivalent Range Error), σ , como un parámetro que representa el efecto combinado de una serie de fuentes de error del sistema GPS como son las efemérides, los errores de propagación de la señal GPS, el efecto multitrayectoria (multipath), los errores en la medición del tiempo, la disponibilidad selectiva y los errores del receptor.

Fuentes de Errores Típicos	GPS Estándar	Con Diferencial GPS
Relojes	1.5	0
Efemérides (Errores Orbitales)	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Errores del Receptor	0.3	0.3
Efecto multitrayectoria (reflexiones, rebotes)	0.6	0.6
SA, Disponibilidad Selectiva	30	0
Por las posiciones de los satélites		
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

Tabla 2 Resumen de los errores típicos de un GPS y un GPS diferencial. La tabla muestra las fuentes típicas de error, expresadas en milímetros (por satélite).

La base de este estudio se centra en la determinación de los retrasos que sufre la señal a su paso por la atmósfera los cuales se detallaran más adelante.

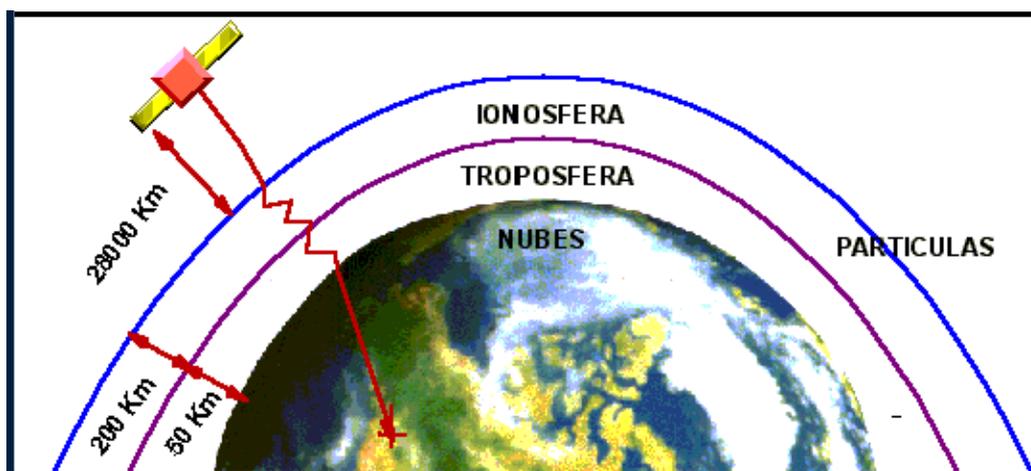


Figura 12 Retraso que sufre la señal a su paso a través de la atmósfera

El sistema GPS fue creado como un sistema de posicionamiento y navegación de uso exclusivo militar. Con el paso de los años, el sistema se abrió al uso civil, y en la actualidad dicho sistema es utilizado en la vida cotidiana como una herramienta más. Años de estudio de las fuentes de error del sistema han llevado a muchos investigadores a aprovechar el retraso sufrido por la señal a su paso por la troposfera como posible estimador de la cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera. Mediante diversas formulaciones matemáticas ha sido posible establecer una relación entre el retraso troposférico de la señal y la cantidad de agua precipitable existente en la atmósfera. En estas modelizaciones matemáticas que a continuación pasaremos a explicar se fundamenta todo el estudio que se ha realizado.

2.2 MODELIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL RETRASO ATMOSFÉRICO

La atmósfera está compuesta por una serie de gases secos y húmedos los cuales son los principales responsables del retraso sufrido por la señal en su camino satélite-receptor. Este retraso de la señal se produce en los diferentes grados de elevación a los que la relación satélite-receptor se encuentra en cada momento de observación.

Para el cálculo del retraso que la señal sufre al atravesar la atmósfera, existen diferentes modelos matemáticos que modelizan este retraso a su paso por las diferentes capas. Uno de los modelos de modelización atmosféricos más usado es el de Saastamoinen, el cual descompone el retraso de la señal en dos (debido a los gases secos y húmedos). Más adelante se detalla dicho el funcionamiento de dicho modelo.

2.2.1 RETRASO CENTAL TOTAL (ZTD)

El retraso cenital total, Zenit Total Delay o Zenit Tropospheric Delay (ZTD) es el retraso experimentado por una señal que va desde un satélite a un punto de la superficie. Puede ser expresado en una primera aproximación mediante la siguiente fórmula, en la cual se integra la refractividad N a lo largo del camino recorrido por la señal y es la siguiente:

$$ZTD = 10^{-6} \int_{z_{ant}}^{z_{toa}} N dz$$

Representando los límites de la integral el camino recorrido por la señal GPS desde la antena hasta la parte más elevada de la atmósfera y N , la refractividad (Thayer, 1974):

$$N = k_1 \left(\frac{P_d}{T} \right) Z_h^{-1} + \left(k_2 \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right) Z_w^{-1}$$

Donde k_1 , k_2 y k_3 son las constantes de refracción medidas en $k/mbar$ y $k^2/mbar$ (para el caso particular de k_3), P_d es la presión parcial de los gases secos en $mbar$, e es la presión parcial del vapor de agua en $mbar$, T es la temperatura en K , Z_h es el factor de compresibilidad del aire y Z_w el factor de compresibilidad del vapor de agua.

Han sido propuestos varios conjuntos de coeficientes, (k_1 , k_2 , k_3) para la refractividad por diferentes autores, (Smith and Weintraub, 1953; Essen and Froome, 1963; Thayer, 1974; Hasegawa and Stokesberry, 1975; Bevis et al., 1994; Saastamoinen, 1972). Yan (2008), evaluó el uso de diferentes conjuntos de coeficientes concluyendo que los ZTD obtenidos no tenían diferencias significativas.

La integral de la primera fórmula que define el ZTD puede ser aproximada mediante funciones analíticas, aproximaciones basadas en modelos atmosféricos simplificados. Algunos de estos modelos son los de Hopfield (1969), Saastamoinen (1972), modelo de Hopfield modificado, modelo de Goad y Goodman (1974), modelo de Black (1978)...

El ZTD representa la integral de la refractividad (N), desde la altura de la antena a lo largo de la columna de la atmósfera y es en función de la temperatura de dicha columna, de la presión parcial de aire seco y de la presión parcial de vapor de agua, por lo que habitualmente se considera dicho retraso como resultado de dos componentes diferenciadas: la componente hidrostática (ZHD) y la componente húmeda (ZWD).

$$ZTD = ZHD + ZWD$$

Este retraso total de la señal es un retraso oblicuo, el modelo de Saastamoinen marca de 10° como mínimo con el fin de eliminar errores producidos por otras causas de observación.

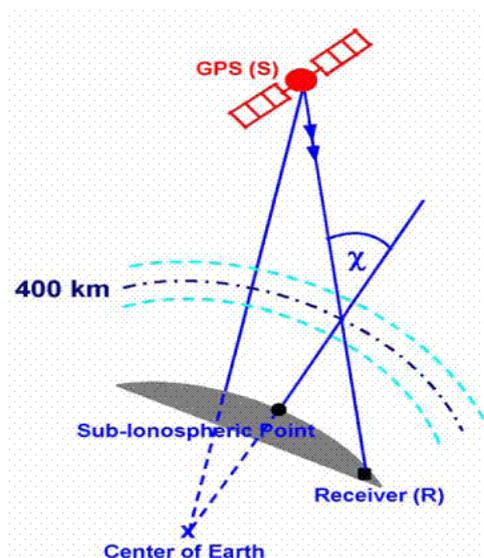


Figura 13 Las funciones de mapeo transforman el retraso de la señal oblicuo en un retraso cenital

Todos estos retrasos comentados se producen a diferentes ángulos de observación en función del momento y la localización. Para poder obtener un valor de retraso representativo en cada momento de observación y en cada lugar es necesario realizar una transformación de ese primer retraso oblicuo a un retraso teórico en la vertical. Esta transformación que es actualmente parte integral de los cálculos GPS de precisión se realiza mediante unas funciones matemáticas llamadas “Funciones de Mapeo”. Existen varias funciones de mapeo diferentes con las que se pueden realizar esta transformación. Todas ellas necesitan de una serie de parámetros establecidos de antemano. Estos parámetros son por ejemplo medidas de parámetros meteorológicos en superficie, la localización o el día del año... (Tregoning et al., 1998; Haase et al., 2003).

Los diferentes tipos de funciones de mapeo de uso frecuente en los cálculos GPS de precisión pueden ser la Niell Mapping Function (NMF), la Numerical Weather Models (NWM) o la Global Mapping Function (GMF, la utilizada en este trabajo). Las diferentes funciones de mapeo se encuentran recogidas en Hofmann 2001.

2.2.2 RETRASO CENTAL HIDROSTÁTICO (ZHD) O RETRASO IONOSFÉRICO

Como ya se ha mencionado, el ZTD se descompone en dos componentes. La primera de ellas que se va a analizar es el retraso cenital hidrostático o Zenit Hydrostatic Delay (ZHD), que según el modelo de Saastamoinen se produce cuando la señal atraviesa la ionosfera.

La señal GPS se propaga en el vacío a la velocidad de la luz (c). Sin embargo en la atmósfera su comportamiento es distinto, sufriendo refracción y dispersión. El retraso que sufre la señal GPS es debido en gran medida a la presencia de electrones libres en la atmósfera, TEC (Total Electron Content). Estos son especialmente abundantes en la ionosfera, entre los 50 y los 1.200 Km de altura, por lo que este efecto se asigna en su totalidad a esta franja de la atmósfera.

La razón principal de que en esta capa aparezcan estos electrones libres es la luz ultravioleta emitida por el sol que ioniza las partículas de las capas altas de la atmósfera. Este fenómeno es más intenso durante las horas del día y en aquellos periodos de actividad solar especialmente activos como el actual.

El retraso que sufren las señales electromagnéticas es directamente proporcional a la concentración de electrones libres e inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de la señal. Esto tiene como consecuencias directas, que las mediciones nocturnas requieran menos tiempos de observación que las observaciones diurnas, y que los periodos de alta actividad solar requieran igualmente observaciones más largas. Los periodos de actividad solar se rigen por ciclos con una duración de unos 11 años y el último máximo (Solar Max) se produjo en el año 2000. En las peores condiciones la ionosfera puede provocar atenuación en la señal, vibración de la fase y pérdida de los satélites.

La eliminación del retraso ionosférico se resuelve habitualmente por dos métodos. Uno de ellos es el empleo de receptores bifrecuencia, que permite, por comparación del retraso sufrido por las distintas longitudes de onda de L1 y L2, modelar empíricamente este efecto con la ventaja de que este modelado se realiza en el lugar de lectura en el instante en que se realizan las mismas.

La siguiente ecuación muestra el error ionosférico en L1 en función de la lectura de pseudodistancias en L1 y L2:

$$I_r(L1) = \frac{(p_1 - p_2)}{\left[\frac{f_2^2}{(f_2^2 - f_1^2)} \right]}$$

Donde:

p_1, p_2 : son las pseudodistancias medidas en L1 y L2.

f_1, f_2 : son las frecuencias medidas de L1 y L2.

Para la realización de este tipo de modelos ionosféricos son necesarios receptores bifrecuencia registrando durante periodos mínimos de 45 minutos actualmente.

En equipos monofrecuencia o bifrecuencia cuando los tiempos de observación son menores, el efecto de la ionosfera se modela mediante los distintos modelos matemáticos disponibles que permiten eliminar prácticamente el retraso ionosférico y alcanzar diferencias menores de hasta 1 milímetros. Este es el segundo método utilizable para la eliminación del retraso ionosférico.

Uno de ellos, el modelo de Saastamoinen, se basa en que la ionosfera está compuesta de gases secos que se mantienen en un equilibrio hidrostático según se muestra en la siguiente formula desarrollada por el autor del modelo (Saastamoinen, 1972):

$$dp = -g(h) \cdot \rho(H) \cdot dH$$

Sin embargo y a pesar de que la componente hidrostática es la que provoca una mayor fuente de error en el retraso total de la señal ya que supone un valor de más del 90% del ZTD, es la más estable tanto en el tiempo como en el espacio, siendo fuertemente proporcional a la presión atmosférica en superficie y por lo tanto fácilmente determinable mediante el método de Saastamoinen con una exactitud mejor de 1 mm (Pacione et al., 2002).

Los cambios en el ZHD son debidos principalmente a cambios de la presión en superficie que acompañan a las variaciones locales atmosféricas. En latitudes medias, estas variaciones se sitúan en los 2-3 cm por año, sin embargo en alteraciones locales y a mesoescala estas variaciones pueden llegar a suponer 5 cm.

2.2.3 RETRASO CENITAL HÚMEDO (ZWD) O RETRASO TROPOSFÉRICO

El otro retraso que forma parte del ZTD es el retraso cenital húmedo o Zenit Wet Delay (ZWD), que está provocado por el vapor de agua que se acumula en la troposfera (capa atmosférica que se extiende desde la superficie terrestre hasta una extensión aproximada de 50 km) y que es directamente proporcional a la cantidad del mismo que atraviesa la señal.

Las señales electromagnéticas de la banda L como es el caso de las señales GPS no sufren dispersión en la troposfera, aunque sí refracción. A diferencia del efecto ionosférico, el efecto troposférico afecta por igual a todas las longitudes de onda con frecuencias por debajo de los 30 GHz.

Los efectos troposféricos pueden ser de unos 2 m en la dirección cenital y de 20-28 m si el satélite se encuentra 5° por encima del horizonte. Este efecto depende de factores atmosféricos como la presión, la temperatura y la humedad y varía según la altitud del observador.

Los componentes húmedos son los que se deben al vapor de agua de la atmósfera, localizado fundamentalmente en los primeros 12 Km de la atmósfera. Esta componente es mucho más difícil de aproximar ya que no depende únicamente de las condiciones superficiales sino de las condiciones atmosféricas (contenido de vapor de agua, temperatura, altitud y ángulo del satélite sobre el horizonte), lo cual le hace ser una componente muy variable tanto en el espacio como en el tiempo.

Al depender de la concentración de agua precipitable existente en la atmósfera, el ZWD es el responsable fundamental de las variaciones del valor del ZTD, pese a que compone una parte muy pequeña de su valor total (entre el 5% y el 10%). Es el responsable de las variaciones del ZTD, ya que la concentración de PW en la atmósfera, como ya se ha indicado, es variable tanto en el espacio como en el tiempo.

Este retraso a diferencia del ZHD no se puede eliminar pero es fácil de estimar. Para ello se requiere de la utilización de un software geodésico, como es GAMIT, el programa utilizado para la elaboración de este proyecto, el cual permite estimar el valor del ZWD mediante un procedimiento inverso por mínimos cuadrados en bloque constreñido.

2.3 RELACIÓN ENTRE ZTD, ZWD Y P.W.

La obtención de la integral de vapor de agua precipitable (I.P.W.V.), o la del agua precipitable (P.W., como se llamará en el presente estudio), se realizará comúnmente ahilando el retraso cenital húmedo (ZWD), a partir de los datos de retraso cenital total (ZTD), obtenidos de las mediciones GPS. Para ello el retraso cenital hidrostático (ZHD), es evaluado utilizando el modelo atmosférico de Saastamoinen que ya fue explicado con anterioridad. Obtenidos ZTD y ZHD se subtrae el valor de ZWD.

Una vez obtenido el valor de ZWD, el valor de P.W. se obtiene por medio de una constante adimensional de proporcionalidad, el factor k , (Brenot et al., 2006).

$$PW_{GPS} = \kappa \cdot ZWD_{GPS} = \kappa \cdot (ZTD_{GPS} - ZHD_{PS})$$

El factor de proporcionalidad K , es función del perfil de temperatura atmosférico (Askne y Nordius, 1987).

$$\kappa = \frac{10^6}{R \cdot (k_2 - k_1 \cdot \frac{m_w}{m_d} + \frac{k_3}{T_m})}$$

Donde T_m es la temperatura media de la columna atmosférica y se calcula:

$$T_m = \frac{\int \frac{P_w}{T} dz}{\int \frac{P_w}{T^2} dz}$$

Donde m_w es la masa molar del vapor de agua, m_d es la masa molar del aire seco, R es la constante ideal de los gases y k_1 , k_2 y k_3 son los coeficientes de refractividad atmosférica medidos en $k/mbar$.

En diferentes trabajos se ha estimado este valor como 0,15 dándolo como aceptable (Bevis et al., 1994, Elgered et al., 1991).

3.PRECIPITACIONES INTENSAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

3.1 INTRODUCCIÓN

El análisis de la variabilidad meteorológica en las últimas décadas del siglo XX a causa sobre todo del cambio climático global así como el estudio de las lluvias torrenciales, han causado un gran interés y expectación en numerosos profesionales del sector a lo largo de los años.

Mientras que globalmente para las precipitaciones se puede hablar de una tendencia positiva para el Norte de Europa, para los países del Sur (lugar del estudio) no se puede hablar de lo mismo ya que la tendencia es claramente negativa (Estrela et al., 2002). Así pues, en un clima Mediterráneo como el que presenta la Comunidad Valenciana, en la que la mayor parte de la misma posee un régimen de precipitación anual de entre 300-500 mm y en el que ya de por sí es un clima con gran variabilidad anual de las precipitaciones, la variabilidad de las mismas y más concretamente si dicha variabilidad se dirige hacia un descenso de éstas, puede provocar enormes consecuencias para la población y las actividades humanas en estas regiones.

Echando la vista hacia atrás, se ve cómo desde hace muchísimos años, se vienen estudiando tanto la evolución de las precipitaciones, como sus efectos negativos y causas de las lluvias torrenciales. Las precipitaciones torrenciales están presentes en las crónicas civiles y eclesiásticas del ámbito mediterráneo desde el mismo nacimiento de éstas (Armengot, 2002). En los siglos XVI-XVIII, diversas obras recogen noticias sobre los grandes aguaceros e inundaciones en el ámbito mediterráneo, ya no como hechos aislados, sino como sucesos con marcada reiteración y clara estacionalidad. Sin embargo fue tras la excepcional avenida que tuvo lugar el 4 de Noviembre de 1964 y que asoló a la Ribera del Júcar, la que dio lugar al primer gran impulso investigador sobre las lluvias torrenciales en la Comunidad Valenciana.

Por tanto se observa cómo, el estudio de un recurso imprescindible para la vida como el agua, tanto desde el punto de vista de su evolución histórica, el cual permitirá ver cómo va variando dicha tendencia para estudiar estrategias de cómo adaptarse a la utilización de éste, como el estudio de las precipitaciones torrenciales, las cuales pueden provocar numerosas pérdidas y daños tanto materiales como humanos, son imprescindibles.

3.2 TIPOS LLUVIAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

La Comunidad Valenciana, por su situación al este de la Península Ibérica y a sotavento de todas las advecciones de origen atlántico, no recibe cantidades importantes de

precipitación procedentes de frentes atlánticos, siendo las de origen mediterráneo el principal “input” pluviométrico. Estas precipitaciones de origen atlántico suponen un 40% de la precipitación anual en el interior de dicha comunidad autónoma y alrededor del 20% en la zona costera. En las últimas décadas del siglo XX se han detectado cambios en el régimen de precipitaciones en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica, dominados por un descenso de las precipitaciones totales. Este descenso enmascara importantes diferencias dependiendo del origen de la precipitación. Así pues los tipos de lluvia existentes en esta comunidad en función de su origen son (Estrela et al., 2002):

- ✓ Tormentas de verano (convectivas). Situaciones convectivas de verano y tormentas orográficas. La génesis de estas tormentas está relacionada con la formación de la Baja Térmica Ibérica.
- ✓ Precipitaciones asociadas con el paso de sistemas frontales atlánticos. Están relacionadas con bajas atlánticas que envían frentes que cruzan toda la Península. El volumen de precipitación en la costa mediterránea no es muy importante. Este tipo de precipitaciones parece ser el menos afectado por los procesos de mesoescala locales y regionales. Son las precipitaciones que ofrecen un comportamiento intraanual más regular y menor intensidad.
- ✓ Precipitaciones como resultado de ciclogénesis mediterráneas de carácter torrencial y de localización más litoral. Ello implica que complejos sistemas convectivos mesoescalares, provocan precipitaciones intensas en la costa este del país. En estas situaciones la temperatura del mar Mediterráneo juega un papel muy importante. Son las más abundantes en toda la comunidad aunque adquieren mayor protagonismo en las áreas cercanas a la costa.

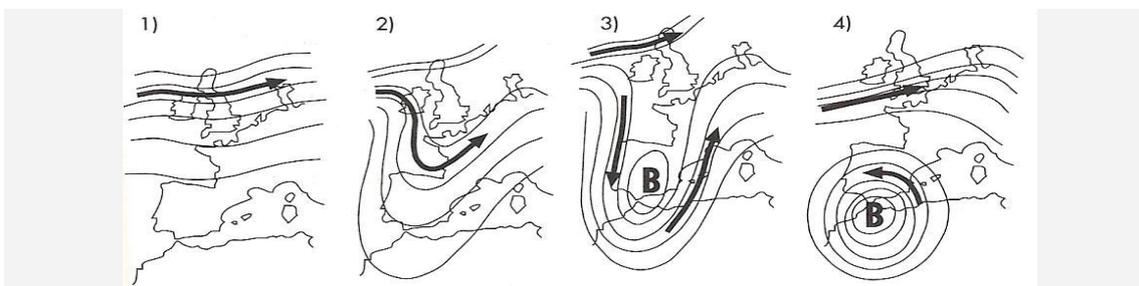
El primer y tercer tipo de tormentas citadas (sobre todo el tercer tipo), a pesar de tener más peso en el total de agua precipitada en esta zona, son más irregulares y llevan implícita una mayor propensión a fenómenos torrenciales, erosivos e incluso de aridez.

3.3 GOTA FRÍA

Dentro de las tormentas originadas como resultado de una ciclogénesis, se encuentra un fenómeno importante y que asola a la Comunidad Valenciana, denominado “gota fría”.

El nombre de este fenómeno proviene de la traducción de la palabra alemana “kaltlufttropfen”, cuya traducción aproximada es “gota de aire frío”. No se trata de un término

nuevo ya que su aparición data de 1886 y tampoco es el nombre que mejor se le ajusta ya que está originada por una burbuja de aire cálido y húmedo, de ahí que el nombre que mejor se ajusta a este fenómeno sea el de DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos).



Génesis de una DANA/Gota fría: 1) Vientos del oeste y chorro polar con índice de circulación alto. 2) Ondulación del chorro y de la corriente general del oeste, con formación de una amplia vaguada. 3) Profundización de la vaguada, con progresivo descenso hacia el sur del aire frío de latitudes superiores. 4) Estrangulación de la vaguada y aislamiento de la gota fría dentro del aire cálido, y reconstrucción del chorro hacia el norte.

Figura 14 Génesis de una gota fría (Llasat, 1991)

Se trata de un fenómeno típico en el mar Mediterráneo, ya que el contraste térmico entre la masa de aire y el agua marina es mayor que en otras zonas. Éste, es un mar que se calienta mucho en verano y que puede llegar a alcanzar cerca de los treinta grados en zonas cercanas a la costa. Cuando llega el otoño, el Mediterráneo continúa a altas temperaturas y la inclusión de bolsas de aire frío procedentes de capas altas, hacen desencadenar éste fenómeno. Al ser más ligero el aire caliente que hay sobre él, asciende rápidamente, chocando con el aire frío y formando grandes borrascas. Si además en ese punto sopla viento de levante (si se forma enfrente de las costas españolas) que aporte más humedad y la empuje dicho frente a tierra, es cuando libera su poder. La gota fría, al igual que los huracanes, depende del mar, tanto para su formación como para obtener su energía, por lo que los mayores vientos y lluvias se suelen dar en la costa.

Su origen está íntimamente relacionado con el fenómeno de la diatermancia en el mar Mediterráneo occidental durante los meses de otoño (en especial, octubre) que es cuando las aguas marinas se encuentran a mayor temperatura en comparación con las tierras continentales. Ello supone una fuerte inestabilidad atmosférica que genera intensas precipitaciones que afectan a las costas próximas, como es el caso de la costa valenciana.

La intensidad de estos fenómenos meteorológicos será tanto más importante no sólo cuanto mayor sea la temperatura de las aguas marinas (factor que también juega un papel importante), sino también cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas entre la masa de

aire y la propia temperatura del agua. Sin embargo, la temperatura marina por sí sola juega un papel importante. Así pues cuanto mayor sea la temperatura de las aguas marinas, el vapor de agua ascenderá más rápidamente debido a la menor densidad del aire cálido y se condensará formando rápidamente nubes de gran altura, denominadas cumulonimbos. Ello provocará que cuanto mayor sea la temperatura del agua marina, se ofrezca una mayor energía y por tanto las precipitaciones puedan ser potencialmente más intensas que cuando la temperatura del agua del mar es menor. Se necesitan de diferencias de temperatura entre la masa de aire y el mar de unos 5 a 7°C al menos, para que se produzcan recargas suficientemente importantes.

Aunque dicho fenómeno es frecuente en la totalidad de las latitudes medias, adquiere especial importancia en los entornos mediterráneos, cálidos y en los que el mar proporciona abundante humedad, considerándose por su breve periodo de recurrencia un rasgo característico del régimen pluviométrico de este clima.

Pese a ser normalmente un fenómeno meteorológico de alta peligrosidad, cabe destacar que no todas las gotas frías producen lluvias torrenciales, ni que todas las lluvias torrenciales están acompañadas de una gota fría en esta comunidad. Como se ha visto hasta el momento, su virulencia va a depender de las temperaturas de la masa de aire y marina pudiéndose originar gotas frías sin una excesiva temperatura marina y/o una diferencia pequeña entre las masas de aire y del mar, lo cual provocaría que estos fenómenos poseyeran poca energía y por tanto, escasa importancia.

3.4 PRECIPITACIONES INTENSAS

Mediante la denominación de precipitaciones intensas se engloban muy diversos fenómenos (como ya se ha determinado, uno de ellos puede ser la gota fría) en cuanto a su intensidad de duración y efectos. Se entienden como tales, desde aquellos que son capaces de acumular unos 100 mm en 24 horas, hasta aquellos que rondan una intensidad de 10 mm/h en un breve periodo de tiempo y provocan inundaciones en núcleos urbanos o pequeñas cuencas (Armengot, 2002).

Dentro de este periodo de estudio, se ha registrado alguna tormenta que se podría denominar como precipitación intensa, como las ocurridas el 19 de septiembre del 2001, 21 de septiembre de 2007, etc. De entre ellas, cabe destacar la tormenta que asoló la Comunidad Valenciana durante los días 11 y 12 de octubre de año 2007 en la que en la estación

meteorológica de Viveros en Valencia se registró una precipitación acumulada en 15 horas de $163,4 \text{ l/m}^2$, la cuarta más importante en los últimos 80 años aproximadamente.

Año	Mes	Día	Total acumulado (l/m^2)
1956	noviembre	17	262,6
1938	octubre	11	169,0
2000	octubre	23	165,0
2007	octubre	11	163,4
1950	octubre	16	152,3

Tabla 3 Precipitaciones que superan los 150 l/m^2 registradas en el observatorio de Valencia "Viveros"

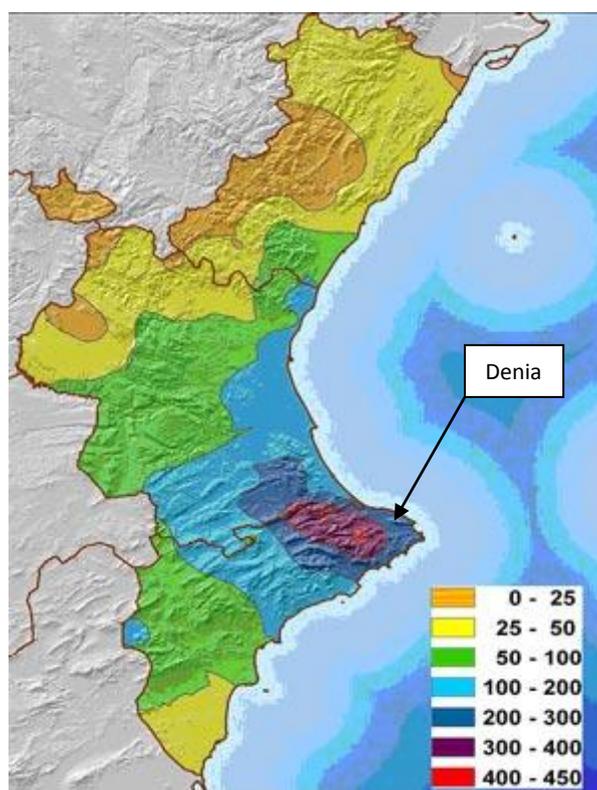


Figura 15 Precipitación acumulada en la Comunidad Valenciana durante los días 11 y 12 de octubre de 2007 medida en l/m^2 .

Como se puede observar, esta fue una de las mayores lluvias torrenciales que afectó al sur de Valencia y norte de Alicante. En algunas poblaciones de estas comarcas se llegaron a registrar precipitaciones acumuladas de hasta 400 l/m^2 en un periodo de 24 horas, y como se ve en la figura 15, Denia fue una de las poblaciones más afectadas por el paso de esta tormenta.

Pero, ¿el momento de ocurrencia de este fenómeno y su distribución geográfica fue algo inusual? En la figura 16 se detalla la distribución tanto temporal como espacial que

describen estas intensas tormentas en la Comunidad Valenciana, con el objeto de comprobarlo.

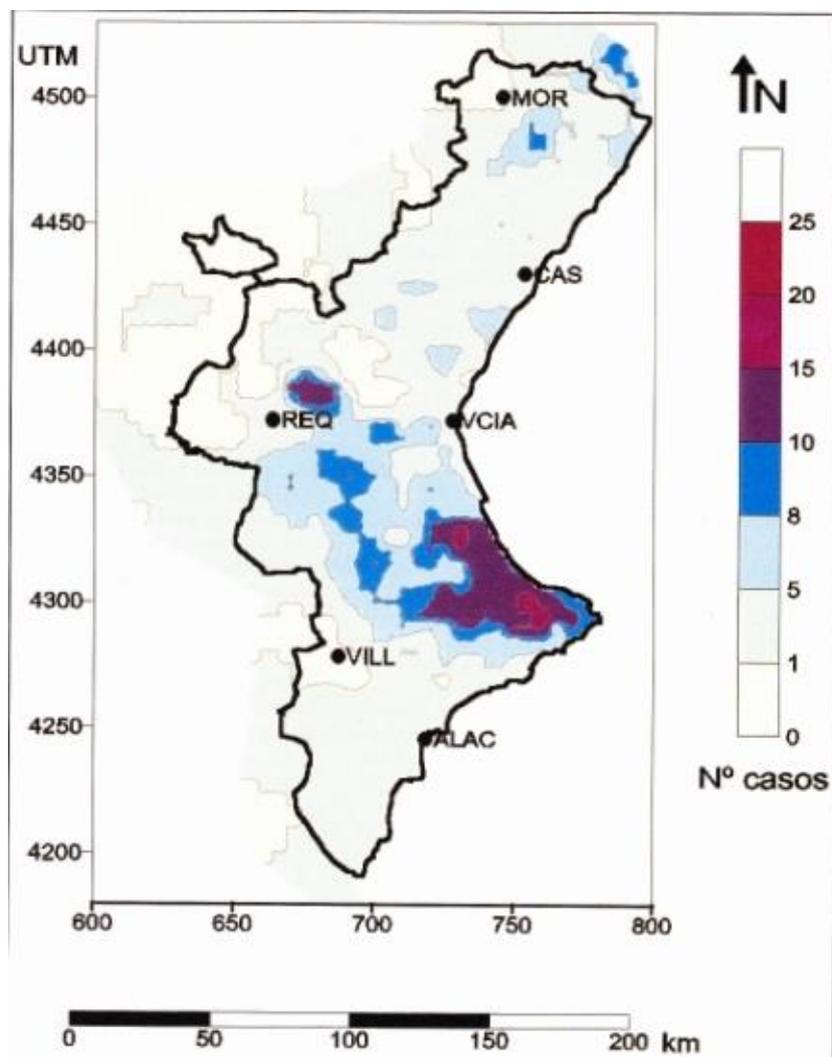


Figura 16 Frecuencias absolutas de días de precipitación superior a 100 mm en el territorio analizado durante los años 1976 y 1990 (Armengot, 2002).

Observando el siguiente gráfico, en el que se estudian el número de días de precipitaciones mayores de 100 mm durante los años 1976 al 1990 en la Comunidad Valenciana, se ve cómo la distribución espacial de las lluvias torrenciales es similar a la que se produjo en la tormenta descrita anteriormente. En ella se puede observar cómo los dos tercios meridionales de la provincia valenciana y el tercio superior de la provincia de Alicante, son las zonas más afectadas por estas precipitaciones más intensas. Estas precipitaciones abarcan los sectores de la margen derecha del Turia, toda la zona media-baja del Júcar, la cuenca entera de Serpis...

En cuanto a la distribución temporal se refiere (ver figura 17) el estudio se divide en las 4 estaciones del año y se observa cómo verano (meses de junio, julio y agosto), es una estación que no está exenta de la posibilidad de que ocurra una lluvia torrencial pero que la probabilidad de que ocurra en esta época una de ellas es muy baja.

Otoño (meses de septiembre, octubre y noviembre), es claramente la estación con mayor predominio en las precipitaciones intensas hasta el punto en el que en ocasiones se las asocia con un carácter exclusivamente otoñal. En esta estación no sólo se producen las mayores frecuencias de días en el catálogo de casos intensos, sino que las situaciones producidas en su transcurso son las que afectan a más territorios y las que aportan mayores volúmenes de precipitación total e intensidad. En particular, octubre es el mes más afectado y septiembre el segundo más afectado.

En invierno (meses de diciembre, enero y febrero), también existen casos de precipitación de más de 100 l/m^2 , pero mucho menor número de ellos que en otoño y además como se puede comprobar en la figura 17 (siguiente página), su extensión en cuanto a territorio abarcado se refiere es mucho menor. Por último, en primavera (marzo, abril y mayo), los casos torrenciales poseen una cobertura territorial muy limitada y con menor número de eventos torrenciales incluso que en invierno.

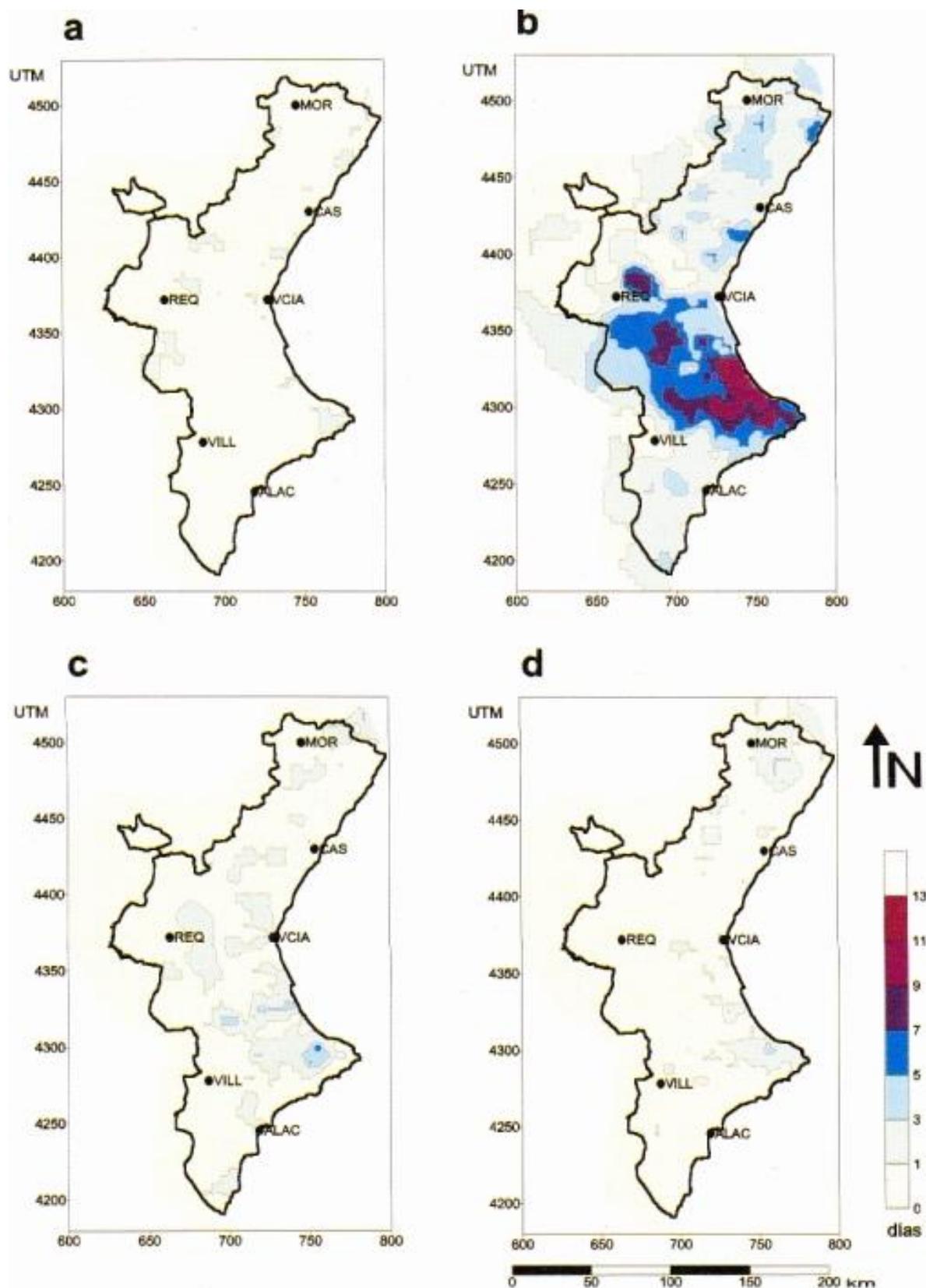


Figura 17 Frecuencia absoluta de días con precipitación superior a 100 mm en las 4 estaciones climatológicas en el periodo 1976-90: a) verano (junio-agosto); b) otoño (septiembre-octubre); c) invierno (diciembre-febrero); d) primavera (marzo-mayo) (Armengot, 2002)

4. OBJETIVOS

OBJETIVOS

Autor: Xabier Archanco Urroz

4.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es el de analizar la tecnología GPS como herramienta de predicción meteorológica, para lo cual se deben cumplir una serie de objetivos secundarios tales como:

- ✓ Validación de la tecnología GPS para la estimación de agua precipitable atmosférica (PW). Para ello se realiza una comparación entre el PW-GPS y la herramienta que actualmente sirve y ya está validada como medidor de dicha variable, los radiosondeos.
- ✓ Análisis del comportamiento de las variables de presión, PW-GPS y precipitación a lo largo de una serie temporal que transcurre desde el año 2001 al 2009 (con salto en el 2005) en la ciudad de Valencia. Se estudiarán los diferentes comportamientos de las dos primeras variables fundamentalmente durante los periodos de máximo registro de agua precipitada en el transcurso de esos 8 años.
- ✓ Estudio de la relación de las variables PW-GPS, presión y precipitación a partir de las cuales y con la ayuda de un software matemático como MATLAB, se desarrollará un modelo de predicción meteorológica para los 8 años citados anteriormente a estudio.

OBJETIVOS

Autor: Xabier Archanco Urroz

5. ESTADO DEL ARTE

5.1 ESTADO DEL ARTE

La utilización de la tecnología GPS en aplicaciones meteorológicas fue propuesta por Bevis en 1992 debido al papel crucial que juega el PW en los cambios atmosféricos. No obstante, la posibilidad de obtención de dicho valor a partir de esta tecnología, solo ha sido posible tras la instalación que se ha venido y viene realizando desde hace ya varios años de redes de referencia GNSS (Global Navigation Satellite System), a partir de modelos numéricos meteorológicos y mejorando la precisión de las medidas GPS (Kuo et al., 1996, Gustafsson 2002, Champollion et al., 2004).

La técnica de obtención del vapor de agua atmosférico mediante receptores GPS ha sido comparada y validada por técnicas convencionales para la estimación de dicha variable, como los radiómetros de microondas o WVR (Wavelength radiometer), la tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging), radares meteorológicos, radiotelescopios o VLBI (Very Long Baseline Interferometry) o los RS (Radiosondeos), (Pacione, 2000 y 2002; Behrend, 2002; Rocken et al., 1995; Emardson et al., 2000; Bock, 2007).

Fue el autor Paul Tregoning, el cual desde 1998, comenzó a realizar comparativas entre los distintos métodos para la estimación del PW atmosférico como son los radiómetros de microondas y el GPS, obteniendo diferencias en las medidas entre dichos aparatos menores de 1,5 mm. Tras él, numerosos autores continuaron con la investigación y fue Borbás en el mismo año, el que mencionaba en su artículo, la limitación temporal y espacial de la metodología de las RS para la estimación del contenido en vapor de agua atmosférico y planteaba el GPS como una aplicación de gran interés en este campo de la meteorología ya que proporcionaba una alta resolución tanto espacial como temporal, para la integral de vapor de agua. Por ello, para la validación del método propuso (como se ha investigado en este trabajo) realizar una comparativa entre las medidas de PW-GPS y PW-RS. El resultado fue una diferencia entre las medidas GPS y RS menor de 1,5 mm.

Maorong Ge y Eric Calais (2000), describieron en su artículo, las ventajas de la utilización de la tecnología GPS frente a otras formas de medida del agua precipitable. Así pues, expusieron que las ventajas de los receptores GPS son su portabilidad, ya que las antenas GPS se pueden instalar y tomar mediciones prácticamente en cualquier lugar del mundo, su coste menor que el de otras tecnologías y su posibilidad de obtener estimaciones continuas de PW (horarias) sin verse afectadas negativamente por el exceso de nubosidad o la lluvia. Por ello definió que el GPS podría ser una buena variante para la estimación del PW

mediante modelos numéricos de predicción meteorológica o NWP (Numerical Weather Prediction).

También en el año 2000, Pacione, comparó la tecnología GPS con los RS, VBLI y WVR en Italia con la ayuda de 12 estaciones GPS y analizó las diferencias existentes entre las medidas de la integral de vapor de agua de los distintos métodos. Los resultados mostraron un sesgo o diferencia entre las medidas de GPS y RS menor del milímetro y correlaciones con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,96. El sesgo entre WVR y GPS también era inferior al milímetro, pero entre la tecnología VBLI y el GPS pasó a ser de entre 5 y 20 mm. Esta elevada diferencia se le atribuyó a la influencia de la máscara de elevación tomada para cada procesado de datos. También se achacó dicha diferencia a que las medidas en los meses en los que el PW alcanza mayores valores debido a su dependencia por parte de la T^a (en primavera y verano) es mayor. Behrend en 2002 fue otro de los autores que continuó analizando la validación de dicha tecnología obteniendo de nuevo resultados de sesgos de 4,5 mm y correlaciones GPS-PW 90,8%. Uno de los últimos autores que continuó dicha investigación fue Bock (2007) obteniendo resultados de sesgos entre 1 mm y 6,5 mm y correlaciones de entre el 81 y 96%.

En cuanto al tipo de procesado a seguir, han sido varios de los autores citados, los que han hablado acerca de la máscara de elevación a utilizar. De entre ellos destacaremos a Chris Alber (2000), el cual realizó una comparación entre los resultados obtenidos al realizar procesados con una máscara de 10° y 20° , con datos de PW obtenidos a partir de radiómetros de microondas. Los resultados obtenidos fueron un sesgo de 9 mm en el primero de los casos y otro de 7 mm para el segundo de los casos. Lo cual afirmaba que los procesados que se realizan con una máscara de elevación de 20° , se ajustan mejor que los que utilizan una de 10° . Otro de los autores que investigó acerca de este hecho y que trabajó entre otros para el proyecto AMMA (African monsoon multidisciplinary analysis), fue Olivier Bock, el cual en 2003, investigó los datos PW obtenidos a partir de su procesado con una máscara de elevación variable desde los 5° a los 20° , con antenas GPS situadas a diferentes alturas en un espacio corto. En él concluyó diciendo que entre ángulos de elevación de 5° a 15° si que se producen grandes variaciones en los resultados, pero que entre máscaras de 15° y 20° apenas existen diferencias.

A lo largo de la última década, 2000-2010, se ha estado investigando acerca de nuevas técnicas de introducción de la variable PW obtenida a partir de las observaciones GPS en los modelos numéricos de predicción meteorológica, mejorando los resultados de éstos (cuando

la variable no estaba integrada en dichos modelos). Uno de los primeros proyectos fue el COST ACTION 716 (Co-Operation in science and technology action 716) (Elgered, 2001), al cual le siguió el proyecto MAGIC (Meteorological Application of GPS Integrated Column water vapor measurements in the western mediterranean). Otros proyectos que trabajan en la asimilación de datos GPS son, el TOUGH (Targeting Optimal Use of GPS Humidity measurements in meteorology), el AMMA (Walpersdorf, 2007) y el proyecto E-GVAP (EUMENET EIG GNSS water vapor programme), en funcionamiento desde el año 2005 (Bender, 2010), el cual se dedica a proporcionar mediciones a EUMENET (NETwork of EUROpean METeorological services, proyecto al que se le han prestado datos meteorológicos de AEMET de más de 200 estaciones automáticas) del vapor de agua medido mediante estaciones GPS para operaciones de predicción meteorológica. Los 1º proyectos estudiaron si sería beneficiosa la inclusión del PW-GPS en los modelos de predicción meteorológica, tras ellos se introdujo dicha variable (a partir de 2004) y los resultados de los modelos fueron mejorados.

Las pruebas que se realizaron para el primero de los citados proyectos (COST ACTION 716), tuvieron lugar en junio del 2000, en un área de estudio que abarcaba la parte centro y norte de Europa (15 países), con el objetivo citado de evaluar la posibilidad de utilizar el sistema GPS para proporcionar en tiempo real observaciones útiles utilizables en los modelos numéricos de predicción meteorológica. Sus resultados mostraron un sesgo o diferencia entre el modelo de predicción sin datos GPS y el mismo modelo utilizando dichos datos.

En el proyecto TOUGH, el objetivo principal era el de desarrollar todos los métodos necesarios para incluir la variable PW obtenida por parte del GPS en los modelos numéricos de predicción meteorológica. El modelo numérico de predicción sobre el cual fue aplicado este proyecto fue el HIRLAM (High Resolution Limited Area Model). Anteriormente, dichos modelos o no incluían esta variable, o incluían la variable obtenida mediante radares meteorológicos. TOUGH presentó una comparativa entre los resultados obtenidos a partir tan solo del modelo y el PW-GPS y otra entre los datos de PW-GPS y PW-RS. De esta manera se comprobó como los datos de retraso de la señal de GPS tienen un gran potencial para el modelo HIRLAM ya que en comparaciones de medidas de retraso de la señal GPS con datos de RS independientes y con predicciones del HIRLAM la desviación estándar fue mayor en el segundo caso (17 mm ZTD con el modelo, frente a 10 mm ZTD con los RS), lo cual indica que existe cierta información en las medidas de GPS que es aún desconocida por el modelo y que mejora la resolución del mismo (Sánchez-Arriola et. al., 2004).

Vedel (2004) en uno de sus estudios, recogía la influencia que los datos de retraso cenital troposférico GPS tienen en la predicción de precipitación en el área Mediterránea, tomando datos de un total de 58 estaciones GPS de Italia, Francia y España, para lo cual utilizaba un software de procesado como es el GAMIT (el software libre seleccionado para la realización de este trabajo) en una de sus versiones anteriores, una máscara de elevación de 10° y una estrategia de procesado de Gauss-Markov. Con dicha estrategia se realizó un procesado post-proceso (también al igual que el realizado en el presente trabajo) y una adaptación del mismo a tiempo real con una disponibilidad dentro de las dos horas de margen que establecen como límite (por lo que a partir de ahora siempre que se hable de modelos de procesado a tiempo real, serán modelos que lleven un mínimo de dos horas de desfase) en los modelos de predicción meteorológica y un error medio cuadrático de 6 mm ZTD (Haase, 2003).

Ello fue un adelanto ya que para conseguir un modelo de predicción eficiente es necesario el procesado en tiempo real de los datos GPS, o lo que es lo mismo, realizar estrategias de procesado NRT (Near Real Time). Ge (2000), analizó el control automático de la calidad de las órbitas para el procesado cercano a tiempo real del ZTD GPS. Esta fue la estrategia de procesado que se aplicó dentro del proyecto de investigación MAGIC. Fue un proyecto de 3 años de duración, financiado por la UE y que se basó su estudio en una red de 18 estaciones de referencia GPS pertenecientes al IGS y repartidas por la zona sureste del continente europeo. El procesado se realizó con un retraso máximo de 3 horas (y mínimo de 2 horas), y cuya solución quedaba disponible en la website correspondiente. Los sesgos obtenidos se encontraron por debajo de los 8 mm comparados con ZTD post-procesados usando orbitas finales. El resultado de dicho proyecto fue el desarrollo de un programa de procesado automático, para obtener el valor del ZTD y del PW tanto en post-proceso como en tiempo real, que permitiese utilizar dicho valor en un modelo numérico de predicción meteorológico (Van Der Marel, 2004).

En el centro de investigación alemán (GFZ), se han dedicado a analizar la precisión con que se trabaja analizando en tiempo cercano al real. La precisión en la determinación del vapor de agua con redes de trabajo locales GPS a resultado por debajo de los 2 mm con una desviación estándar de 1 mm (Dick, 2001).

Uno de los últimos estudios a cerca de las diferencias existentes entre los procesados NTR y post-proceso sobre la variable ZTD, fue realizado por Pacione en 2010. El sesgo entre los valores de procesado a tiempo real y en post-proceso se establece entre 1 y 4 mm.

6.MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 MATERIALES

6.1.1 ESTACIONES GPS Y OBTENCIÓN DATOS

Para realizar este estudio, se dispuso de datos RINEX (Receiver INdependent EXchange format) de observación de una serie de estaciones GPS situadas la mayoría de ellas en la mitad este peninsular y pertenecientes a dos redes de la misma.

Las dos redes de las cuales se han tomado los datos necesarios para la realización de este estudio han sido las redes de ERVA del ICV, es decir, la Red de Estaciones de Referencia Valenciana del Instituto Cartográfico Valenciano y la red geodésica del IGN o Instituto Geográfico Nacional.

Los RINEX son unos ficheros con formato de texto orientados a almacenar de manera estandarizada las mediciones registradas por los receptores de sistemas de navegación por satélite como el caso del GPS. La necesidad de combinar distintos tipos de receptores de distintas casas comerciales y de diferentes versiones en un mismo proyecto y realizar cálculos con un mismo programa, hace obligatorio la creación de un formato común de intercambio de datos. El formato RINEX satisface esta necesidad de intercambio ya que es el formato estandarizado que permite la gestión y almacenamiento de las medidas generadas por un receptor, así como su procesado mediante multitud de aplicaciones informáticas independientemente de cuál sea el fabricante tanto del receptor como de la aplicación informática.

En concreto se procesaron los datos de 15 estaciones GPS, desde el año 2001 al 2010. El periodo durante el cual se tomaron y procesaron los datos de cada estación fue en función del momento en el cual comenzaron a registrarse mediciones en dichas estaciones, iniciando así el procesado en el año 2001 con tan solo 4 estaciones, las dos de referencia del IGS y las de VALE y MALL del IGN y finalizándolo en 2010 con las 15 estaciones citadas. Se indica el año en el cual comenzaron a registrar observaciones al lado del nombre de cada estación y entre paréntesis la localidad en la cual se encuentran las antenas más adelante.

A parte de las estaciones citadas, para que los resultados obtenidos fueran correctos se tuvo que establecer una línea-base con tres estaciones de referencia situadas a más de 1000 km de distancia entre sí, como se muestra en la figura 19. La razón por la cual se crea esta línea-base se debe a la búsqueda de la eliminación de la correlación que sucede durante el cálculo de los parámetros de posicionamiento vertical de la troposfera. La generación de

esta línea-base afecta de forma decisiva a la precisión de los datos obtenidos. Así pues distancias superiores a 600 km provocan un coeficiente de correlación menor de 0.3 (Haase, 2003). En este estudio, las estaciones que han formado la línea base han sido la estación de CANT perteneciente al IGN y las estaciones de BRUS y CAGL pertenecientes a la red del IGS o International GPS Service for Geodynamics.

Las estaciones de referencia GPS procesadas en este estudio fueron las siguientes:

- ✓ Red ERVA (España; Comunidad Valenciana)
 - MORE (Morella) 2005
 - BORR (Burriana) 2005
 - UTIE (Utiel) 2005
 - AYOR (Ayora) 2007
 - ALCO (Alcoy) 2005
 - DENI (Denia) 2006
 - TORR (Torrelaveja) 2005
 - VCIA (Valencia) 2006
- ✓ Red IGN (España; Instituto Geográfico Nacional)
 - ZARA (Zaragoza) 2006
 - CANT (Santander) 2001
 - MURC (Murcia) 2006
 - VALE (Valencia) 2001
 - MALL (Mallorca) 2001
- ✓ Estaciones de Referencia para el procesado
 - BRUS (Bruselas; Bélgica) 2001
 - CAGL (Cagliari; Italia) 2001

Las coordenadas geográficas sexagesimales de cada estación de referencia medidas en el sistema ETRS-89 (European Terrestrial Reference System 1989), son:

Estación	Nomenclatura	Red	Coordenadas Geográficas (ETRS-89)	
			Latitud	Longitud
Alcoy	ALCO	ERVA	38° 41' 52.74" N	0° 28' 24.77" W
Ayora	AYOR	ERVA	30° 3' 40.81" N	1° 3' 33.16" W
Burriana	BORR	ERVA	39° 54' 18.64" N	0° 4' 59.57" W
Denia	DENI	ERVA	38° 50' 5.20" N	0° 6' 13.18" E
Morella	MORE	ERVA	40° 37' 4.6" N	0° 6' 5.62" W
Torrelavega	TORR	ERVA	37° 58' 31.13" N	0° 40' 51.19" W
Utiel	UTIE	ERVA	39° 34' 7.24" N	1° 12' 30.92" W
Valencia	VCIA	ERVA	39° 26' 8.55" N	0° 20' 38.06" W
Bruselas	BRUS	IGS	50° 47' 52.08" N	4° 21' 33.12" E
Cagliari	CAGL	IGS	39° 8' 9.24" N	8° 58' 22.08" E
Santander	CANT	IGN	43° 28' 19.12" N	3° 47' 53.03" W
Valencia	VALE	IGN	39° 28' 50.97" N	0° 20' 15.54" W
Zaragoza	ZARA	IGN	41° 38' 0.22" N	0° 52' 55.79" W
Mallorca	MALL	IGN	39° 33' 9.45" N	2° 37' 28.38" E
Murcia	MURC	IGN	37° 59' 31.79" N	1° 7' 28.87" W

Tabla 4 Descripción de las coordenadas geográficas sexagesimales de las 14 estaciones de referencia GPS procesadas

A continuación se muestra la localización de las estaciones en el programa google.earth y la línea base creada:



Figura 18 Localización de 13 (todas menos las dos del IGS) de las estaciones de referencia GPS procesadas en la Península Ibérica



Figura 19 Representación de la línea-base creada para este estudio

Una vez desmenuzados los datos que se han utilizado, se detallará el modo de obtención de los mismos. Estos ficheros se encuentran colgados en la red, cada cual por su organismo competente en unas direcciones FTP (File Transfer Protocol). Muchas de estas redes van machacando año tras año estos datos, pero en este caso gracias a seguir un trabajo que comenzó hace tiempo y que se ha continuado, se dispone de una base de datos de calidad y larga, de la cual se toman los ficheros para realizar el procesado.

Los RINEX de las estaciones pertenecientes al IGN se tomaron de la siguiente dirección, <ftp://ftp.geodesia.ign.es>. Los pertenecientes a la red del IGS se descargaron automáticamente de su web por medio del software libre que se ha utilizado para la realización del proyecto y los de la red de ERVA se obtuvieron de la dirección, <ftp://www.icv.gva.es/Datos/>.

Todos los RINEX descargados para la elaboración del procesado de este estudio de las direcciones ftp, son RINEX diarios a 30 segundos.

6.1.2 RADIOSONDEOS (RS)

Los RS son observaciones en altura que miden la presión, temperatura y humedad desde el nivel del suelo hasta alturas de unos 30 km. Existen en el mundo cerca de 900 estaciones que toman medidas unas dos veces al día (una a las 00:00 y otra a las 12:00), aunque las hay que toman durante determinados periodos de tiempo de interés 3 o 4 medidas diarias. En la dirección web <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>, perteneciente al Departamento de Ciencia Atmosférica de la Universidad de Wyoming, se pueden obtener los datos, y es de aquí del lugar del cual se han adquirido los datos de RS para las estaciones de Mallorca, Murcia y Zaragoza.



08221 Madrid/Barajas (LEMD)

Figura 20 Lanzamientos de RS existentes en Europa. Departamento de Ciencia Atmosférica de la Universidad de Wyoming.

Código RS	Ciudad	Coordenadas Geográficas			Estación GPS	Distancia (Km)
		Latitud	Longitud	Elevación (m)		
8160	Zaragoza	41° 39' 36" N	1° 0' 36" W	258	ZARA	11,26
8302	Mallorca	39° 36'36"N	2° 42'36"E	41	MALL	21,15
8430	Murcia	38° 0' 0" N	1° 9' 36" W	62	MURC	2,97

Tabla 5 Código, ubicación y distancia de las estaciones de RS con sus correspondientes GPS

Como se ha mencionado tan solo se toman dos medidas diarias de RS, mientras que de GPS se posee un valor de PW horario. Ello provoca que al cabo de un año, se pueda tener un volumen de datos de 730 pertenecientes a las mediciones con RS, frente a los 8760 que se pueden llegar a tener de GPS.

6.1.3 DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos meteorológicos fueron solicitados a AEMET (Agencia Estatal de METeorología). Así se consiguieron los datos meteorológicos diezminutales de las variables meteorológicas de precipitación, H.R., Temperatura y velocidad y dirección de viento medidas a 10 metros de altura de la estación de Viveros de Valencia y los datos horarios de presión de la estación meteorológica del aeropuerto de Manises. Las características más destacables de las estaciones meteorológicas son las siguientes:

Código	Estación meteorológica	Coordenadas Geográficas			Distancia a estación VALE (Km)	Distancia a estación VCIA (Km)
		Latitud	Longitud	Elevación		
8416	Viveros	39° 28' 50.00" N	0° 21' 59.00" W	11 m	2,44	5,32
8414A	Manises	39° 29' 12.00" N	0° 28' 24.00" W	70 m	11,65	12,48

Tabla 6 Código, ubicación y distancia de las estaciones meteorológicas a las GPS

El periodo del cual se poseen datos fue del 2000 al 2009, por lo que esta investigación centró su estudio desde los años 2001 (ya que es cuando comienza a tomar datos la antena GPS de la estación de VALE) al 2009 (ya que pese a que se tiene el año 2010 procesado, no se disponen de datos meteorológicos de esa fecha), eliminando entre medias el año 2005 debido a que no se poseen datos meteorológicos de la estación de Viveros de dicho año.

Al ser datos diezminutales los pertenecientes a las estaciones meteorológicas de la estación de Viveros, lo primero que se realizó fue una media aritmética de los 6 valores diezminutales de cada variable que se encuentran dentro de una hora, para así poseer datos horarios y poder comparar éstos, con los datos GPS, así como un chequeo de calidad de los mismos.

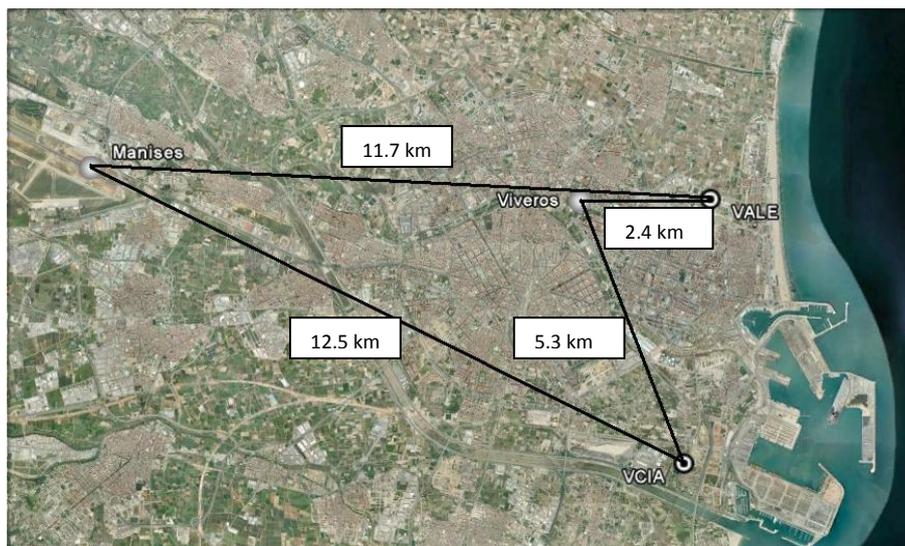


Figura 21 Distancias de las estaciones meteorológicas de Manises y viveros a las estaciones GPS de VALE y VCIA

6.2 METODOLOGÍA

6.2.1 PUESTA A PUNTO DE LOS RINEX

Tras la recopilación de todos los datos necesarios para la elaboración del procesado (desde sus ftp descritas anteriormente), la siguiente acción fue la de homogeneizar todos los archivos RINEX descargados para que pudieran ser procesados.

Estos ficheros por lo general suelen estar comprimidos para ahorrar espacio, por lo que el primer paso que se tuvo que dar fue la descompresión de los mismos. Así pues, dentro de los ficheros RINEX comprimidos tenemos varios mensajes como pueden ser el “N” de navegación, el “O” o “D” de observación, el “M” meteorológico... En concreto para la realización de este trabajo se tomaran los datos RINEX de observación diarios medidos a 30 segundos.

A continuación se expone un ejemplo de uno de los ficheros RINEX descargados, como puede ser uno de la estación de VALE (Valencia del IGN). El fichero, tras su descarga posee la siguiente nomenclatura: VALE0010.09d.

En estos ficheros las 4 primeras letras indican la antena de la cual han sido tomados los datos. Generalmente se corresponden con las 4 primeras letras de la ciudad o emplazamiento en el que se encuentra situada. En este caso, VALE de Valencia. Los tres números que le preceden, corresponden al día del año de la observación. Este día esta medido en día GPS, el cual toma como día uno el uno de enero del año correspondiente y como 365, o 366 en caso

de año bisiesto, el día 31 de diciembre de ese año. Su extensión .09 indica el año en el cual se ha tomado la observación en este caso 2009 y la última letra, “d” nos indica que en este caso es un archivo de observación de compresión Hatanaka, una compresión especial que permite que el software de procesado, los procese sin necesidad de descompresión. Si no estuviera comprimido con compresión Hatanaka, su letra final sería una “o” de observación.

A este archivo para que pueda ser procesado, se le debe colocar el nombre en minúsculas ya que el software libre que se va a utilizar tan solo lee y por tanto solo procesa ficheros que estén escritos mediante letras minúsculas. Así pues mediante el programa Lupas Rename, se renombraron todos los RINEX a procesar.

Tras haber realizado todos los ajustes pertinentes, se obtiene un archivo llamado: vale0010.09d, un fichero RINEX de observación a 30 segundos de compresión HATANAKA que ya estaría listo para ser procesado.

6.2.2 PROCESADO DE LOS DATOS: GAMIT 10.40

El procesado de los datos GPS se ha realizado mediante un software libre llamado GAMIT en su versión 10.40, el cual ha sido creado por T.A. Herring, R.W. King y S.C. McClusky, todos ellos miembros del departamento de Ciencias del Instituto Tecnológico de Massachussets.

Gamit se resume como una colección de programas para el procesado de datos obtenidos de estaciones GPS, estimación de las posiciones tridimensionales relativas de estaciones terrestres y de las órbitas de los satélites, además de los retrasos cenitales atmosféricos y los parámetros de orientación de la tierra. Es un software diseñado para funcionar bajo cualquier sistema operativo UNIX.

Para una correcta aplicación del programa se deben definir una serie de parámetros y preparar, según los datos que se quieran obtener, una serie de archivos que aquí tan solo serán nombrados pero que en el Anexo I, están detallados correctamente. Los archivos imprescindibles son:

- ✓ Sites.defaults
- ✓ Process.defaults
- ✓ Lfile.
- ✓ Station.info
- ✓ Sestbl.

Una vez se crean todos los archivos necesarios, el procesado de los datos G.P.S. permite a partir de los datos de ZTD (Zenit Tropospheric Delay) horarios, conociendo la presión en superficie medida en mbar con una precisión superior a 3 mbar, obtener un dato horario de ZWD (Zenit Wet Delay) por diferencia entre el valor de ZTD y ZHD, y a partir del mismo obtener el valor del PW (Precipitable Water). El ZHD se estima sin dificultad mediante el modelo de Saastamoinen, 1972, con una precisión de 1mm.

Para la parametrización de los datos ZTD, Gamit utiliza el modelo de Saastamoinen. Se usó la función de mapeo G.M.F: (Global Mapping Function) (Boehm et al. 2006) para calcular el retraso en la dirección del satélite. Además se realiza una interpolación lineal de los datos por tramos dentro de las épocas de solución siguiendo el modelo de Gauss-Markov.

Este modelo consiste en realizar un procesado de 3 ventanas por día, cada una de ellas de 12 horas, produciendo 13 valores de los cuales los 2 primeros y los 3 últimos serán eliminados con el fin de evitar posibles errores del programa. De esta manera, de cada una de las 3 ventanas de procesado de 12 horas, se queda el programa los 8 datos centrales para así tener los 24 datos de cada día tras ser éstos filtrados y eliminados los sobrantes. La primera ventana procesa datos desde las 00:00 hasta las 12:00, la segunda desde las 08:00 hasta las 20:00 y la última desde las 16:00 hasta las 04:00 del día siguiente. De esta manera, de la primera ventana son útiles los datos horarios de ZTD desde las 02:00 hasta las 10:00, de la segunda ventana desde las 10:00 hasta las 18:00 y de la tercera y última ventana desde las 18:00 hasta las 02:00, quedando de esta manera 1 dato por hora y las 24 horas del día cubiertas. El porqué de esta forma de procesado de las ventanas es para evitar el llamado “efecto edge” o “efecto imagen o espejo”, en el que los datos iniciales y finales de cada procesado se suelen repetir, siendo por tanto erróneos. (Jin et al., 2007).

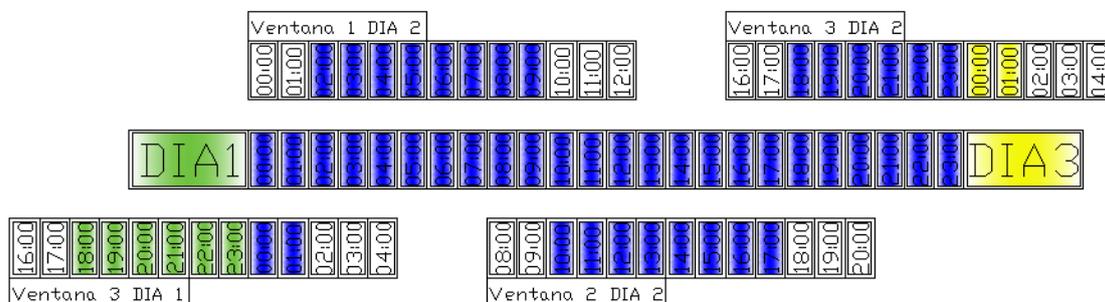


Figura 22 Explicación del “efecto edge”. En azul las horas seleccionadas para formar parte de los datos del día dos, en blanco las que se desechan.

Además GAMIT parametriza el valor de ZTD como una variación estocástica del modelo de Saastamoinen (1972) con interpolación lineal por tramos dentro de las épocas (intervalo de

tiempo en el que se divide la toma de datos), les da solución y calcula los gradientes en la dirección norte-sur y este-oeste que representan la heterogeneidad de la distribución del vapor de agua y los gases secos en la atmósfera en ambas direcciones.

Otra de las variables que se deben indicar en el programa para la obtención de datos horarios es el número de épocas, que es el número de datos que procesa GAMIT para dar 1 ZTD. Estos datos se miden cada 30 segundos y la ventana de procesado tiene 12 horas, por lo que en 12 horas hay 1440 épocas. Para facilitar el procesado y automatizarlo se creó un programa de ejecución llamado Repite. Mediante este programa, se lanza automáticamente el orden de procesado tantas veces como se exija para completar el análisis. Al lanzar este programa lo que el mismo hace es dar la orden de lanzar otros tres, que dependen de él. En el Anexo II, viene detallado el funcionamiento de repite.

A modo resumen se expone que este procesado se ha llevado a cabo para una serie de 10 años, desde el año 2001 hasta el año 2010 incluidos ambos, con una máscara de elevación de 15°, ficheros RINEX de observación a 30 segundos y mediante la estrategia de procesado de Gauss-Markov anteriormente descrita para eliminar el “efecto edge” o ventana deslizante.

De manera que una vez calculados los valores de PW, se obtiene de Gamit un archivo .txt con los resultados (para cada estación mediante su nombre), los cuales con la ayuda de un ejecutable llamado FILTRAR.EXE, transferirá los datos a un archivo .xls sobre el cual se podrá comenzar a operar.

Para finalizar este apartado, se debe destacar que hasta aquí, el estudio se ha llevado a cabo con todas las estaciones indicadas. Sin embargo, debido a que solo se poseían en sus inicios datos meteorológicos de la estación de Viveros de Valencia (estación perteneciente a AEMET) hasta el año 2009, se utilizan solamente las estaciones GPS de Zaragoza, Mallorca y Murcia para compararlos con las radiosondas (ya que son las únicas que tienen en la misma ciudad RS y GPS) y la de Valencia (tanto VALE como VCIA) para realizar el estudio de predicción meteorológica y para evaluar las tormentas producidas durante el periodo transcurrido desde 2001 a 2009. El procesado de las demás estaciones se realizó con el fin de obtener más adelante los datos meteorológicos correspondientes y poder extrapolar este estudio a diferentes zonas de la Comunidad Valenciana.

6.2.3 ANÁLISIS DE LA PROBABILIDAD DE LLUVIA

Mediante el programa matemático MATLAB (MATrix LABoratory), se realiza un análisis matemático de las variables PW-GPS, presión y precipitación durante el periodo transcurrido entre 2001 a 2009, que permite calcular la probabilidad de lluvia para cada mes.

Para ello se creó un script llamado "circfm". Este script lo que realiza es un gráfico de dispersión tras introducirle los ficheros .xlsx correspondientes con los datos pertenecientes al mes de estudio de las variables de PW-GPS, presión y precipitación. En el gráfico de dispersión queda colocado en el eje de las abscisas el valor del PW medido en milímetros y en el eje de las ordenadas, el valor de la presión atmosférica medido en milibares. Así quedan registrados los puntos en los que se produce precipitación a una determinada presión y PW, teniendo estos puntos un mayor o menor radio en función de la intensidad de lluvia. Lógicamente tendrán un mayor radio los puntos que posean una mayor intensidad de precipitación.

Tras ello el programa dibuja varios círculos que abarcan el 10% de la lluvia total, el 30%, el 50%, el 70% y el 90% de la misma y da el valor del radio para cada uno de los círculos y el lugar en el que se encuentra el centro del mismo. El centro queda designado de la siguiente manera:

$$\left(x = \frac{\sum PW \cdot Precp}{\sum Precp}, y = \frac{\sum Pres \cdot Precp}{\sum Precp} \right)$$

Tras ello y mediante la siguiente ecuación calcula la probabilidad de lluvia encerrada en cada círculo:

$$\% Prob. Lluvia = \frac{N^{\circ} \text{ horas de lluvia}}{N^{\circ} \text{ horas totales}}$$

En los gráficos finales obtenidos a partir de dicha aplicación, el círculo que queda representado es el que abarca el 50% del agua precipitada.

7.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DESCRIPCIÓN DE PASOS PREVIOS AL ESTUDIO

La realización de este estudio va a estar centrado en la ciudad de Valencia, lugar en el cual existen dos estaciones GPS. La estación de VALE, perteneciente al IGN y que lleva registrando datos desde el día 1 de enero de 2001 (día 001 GPS) y la estación de VCIA, perteneciente a la red de ERVA, la cual lleva registrando datos desde el día 4 de julio de 2006 (día 185 GPS). Se encuentran situadas la una respecto de la otra a una distancia de algo menos de 5 km, como se observa en la figura 23.



Figura 23 Distancia entre las dos estaciones GPS de la ciudad de Valencia

La estación de VCIA es una estación con un volumen de datos registrado mayor que la de VALE a partir de la fecha en la que comenzó a medir. Además, posee datos en algún momento de estudio interesante de precipitación intensa en el que la serie de VALE tiene un vacío.

Del total de datos que pueden poseer como máximo dichas estaciones a partir del día 185 de 2006, que es de 30.624 $((180+365+366+365) \cdot 24)$, la estación de VCIA posee 30.316 datos, es decir, el 99% de los mismos, mientras que para la estación de VALE se poseen 29.050, es decir, el 95% del total de datos. Por todos los argumentos expuestos, interesa realizar el estudio con los datos desde el día 1 del 2001 hasta el día 185 de 2006 de la estación de VALE y a partir de este día y hasta el final del estudio, con los de la estación VCIA. Para comprobar si se podría o no realizar dicha comparación se realizó un gráfico de dispersión para los datos de ambas estaciones para un año completo, el 2008.

Los resultados fueron los siguientes:

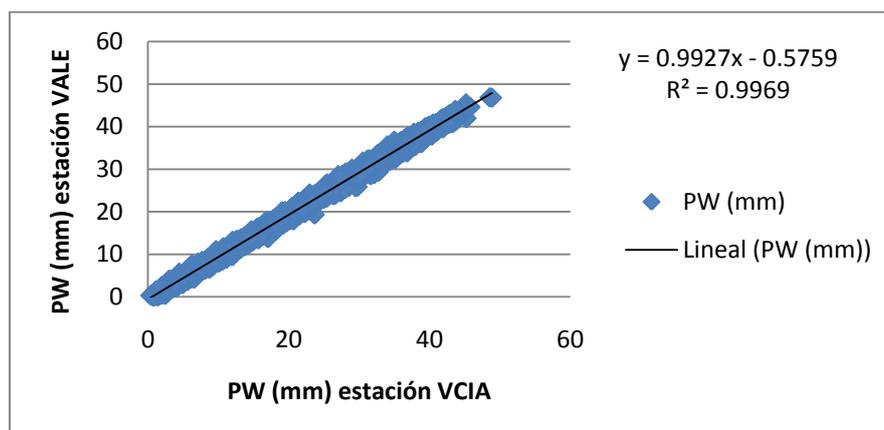


Gráfico 1 Comparación del PW obtenido en las dos estaciones valencianas

De manera que analizando la recta de regresión, se observa que posee un coeficiente de determinación de 0,99, es decir, un ajuste prácticamente perfecto. Estos resultados indican que se puede llevar a cabo el estudio, desde su inicio hasta el día 185 de 2006, con los datos de PW procedentes del procesado de la estación de VALE y a partir de dicha fecha hasta el día 365 de 2009, con los de la estación de VCIA.

Estos resultados han sido algo esperado ya que el radio que abarcan las medidas de la señal GPS es de 50 km, y ambas estaciones se encuentran situadas a una distancia inferior a los 5 km por lo que la mayoría de las medidas que realizan ambas estaciones se solapan.

7.2 VALIDACIÓN DEL PW-GPS

Pese a que numerosos autores ya lo hayan investigado (como se ha visto en el punto 5.1 Estado del arte), en este primer punto se va a realizar una comparación entre los valores de PW obtenidos a partir de la tecnología GPS, a los cuales se les llama PW-GPS, y los obtenidos a partir del lanzamiento de RS, a los cuales se les denomina PW-RS. Este estudio se realiza con el fin de demostrar la fiabilidad de los datos utilizados en esta investigación.

Para cumplir este primer objetivo se toman los datos tanto PW-GPS, como PW-RS de las estaciones de ZARA, MALL y MURC. Para la primera estación, el periodo de estudio comprende los años 2007 y 2008 mientras que para MALL y MURC, la investigación comprende los años del 2006 al 2009. Los análisis realizados van a ser los siguientes:

- ✓ Representación de las secuencias de ambos valores
- ✓ Gráficos de dispersión con ajuste lineal (Correlación)
- ✓ Representación del sesgo (Error sistemático de observación)

- ✓ Representación de las secuencias de ambos valores:

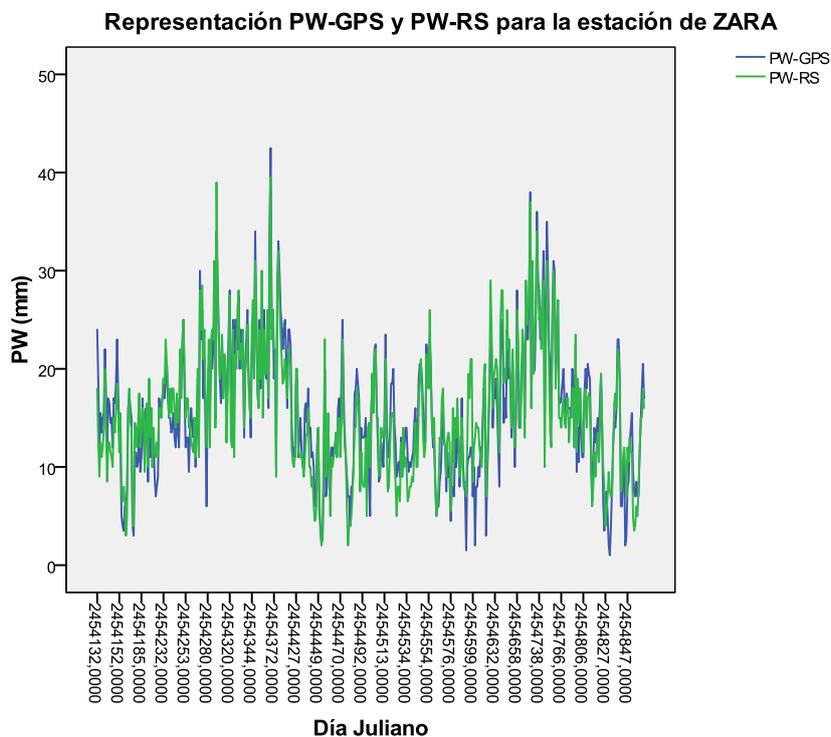


Gráfico 2 Series de PW-GPS en verde y PW-RS en azul correspondientes a la ciudad de Zaragoza para el periodo de estudio 2007-2008. Unidades en mm

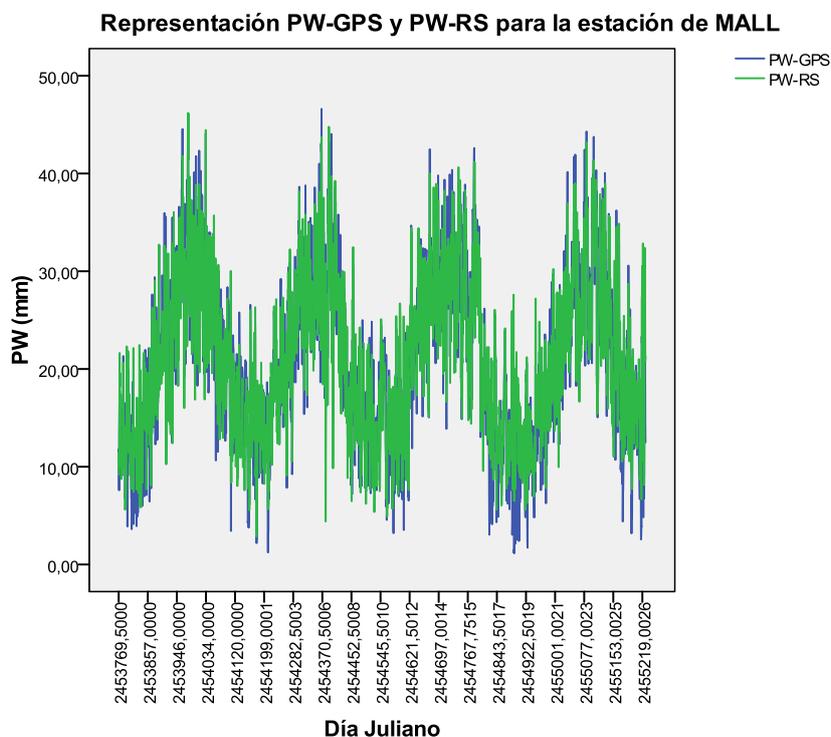


Gráfico 3 Series de PW-GPS en verde y PW-RS en azul correspondientes a la ciudad de Mallorca para el periodo de estudio 2006-2009. Unidades en mm

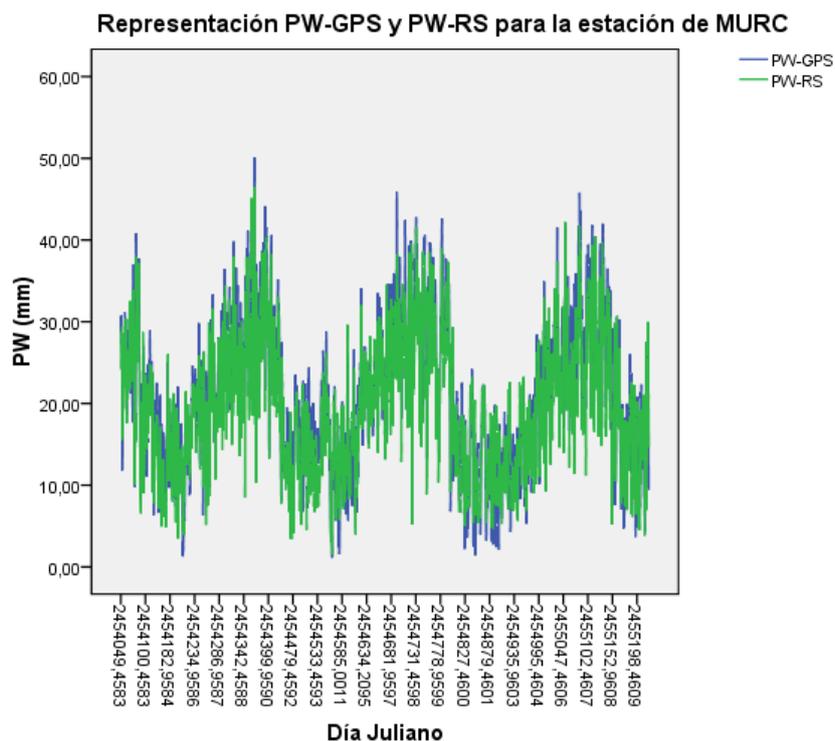


Gráfico 4 Series de PW-GPS en verde y PW-RS en azul correspondientes a la ciudad de Murcia para el periodo de estudio 2006-2009. Unidades en mm

✓ Gráficos de dispersión con ajuste lineal

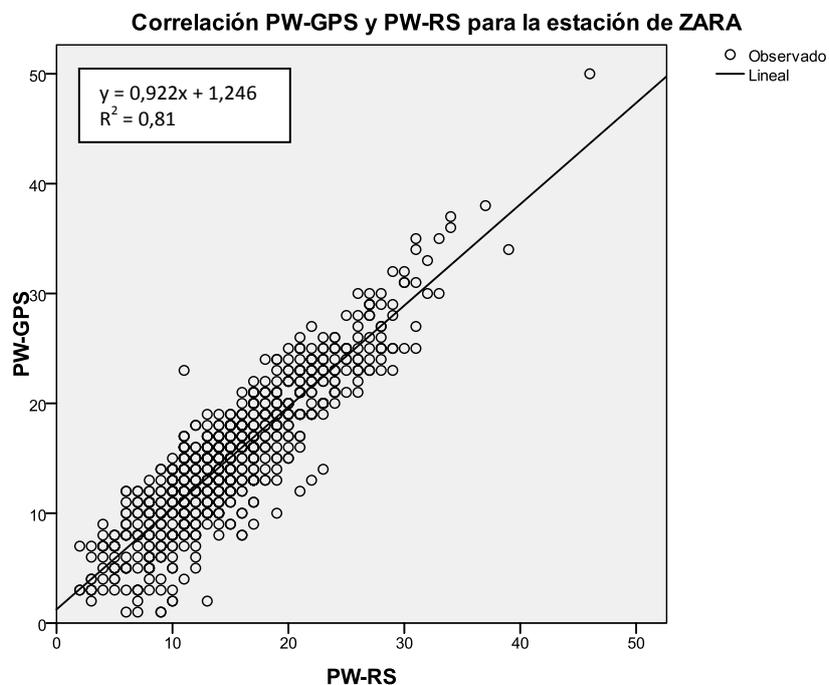


Gráfico 5 Correlación entre los datos PW-GPS y PW-RS de la estación ZARA. Unidades en mm

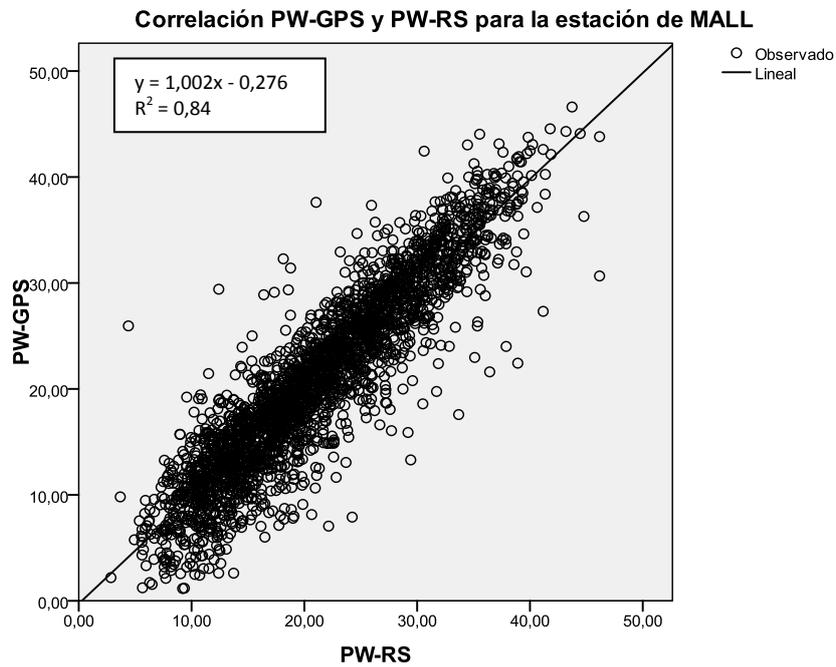


Gráfico 6 Correlación entre los datos PW-GPS y PW-RS de la estación de MALL. Unidades en mm

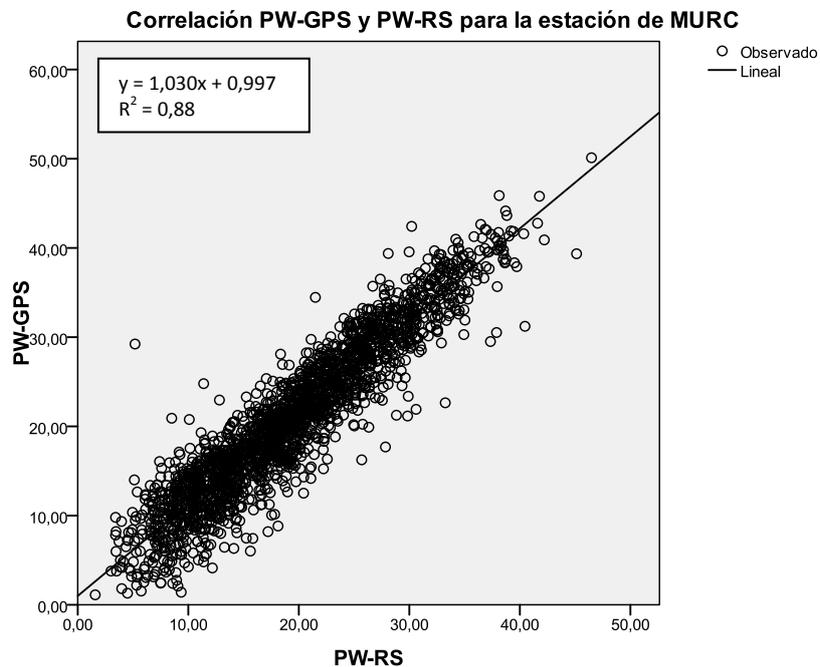


Gráfico 7 Correlación entre los datos PW-GPS y PW-RS de la estación de MURC. Unidades en mm

- ✓ Representación del sesgo (error sistemático de observación):

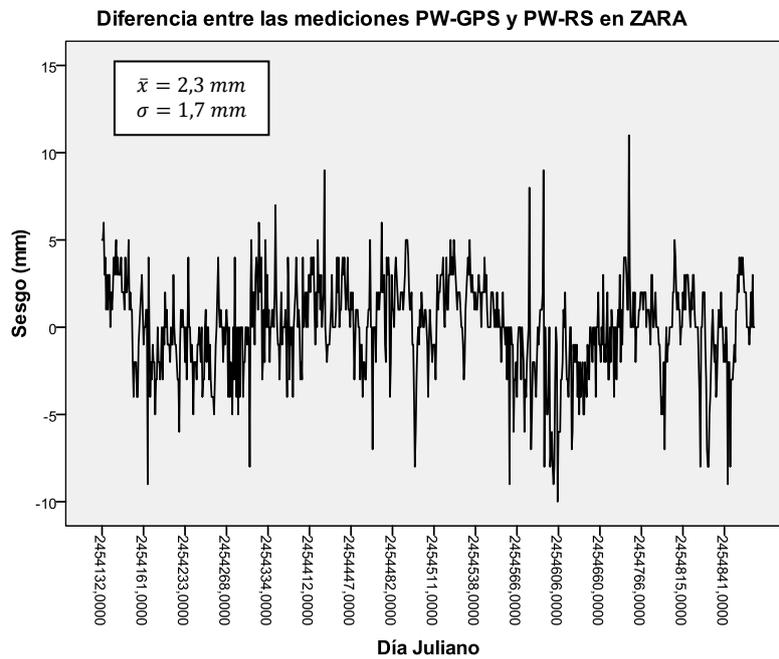


Gráfico 8 Diferencia entre los datos de PW-GPS y PW-RS de la estación de ZARA.

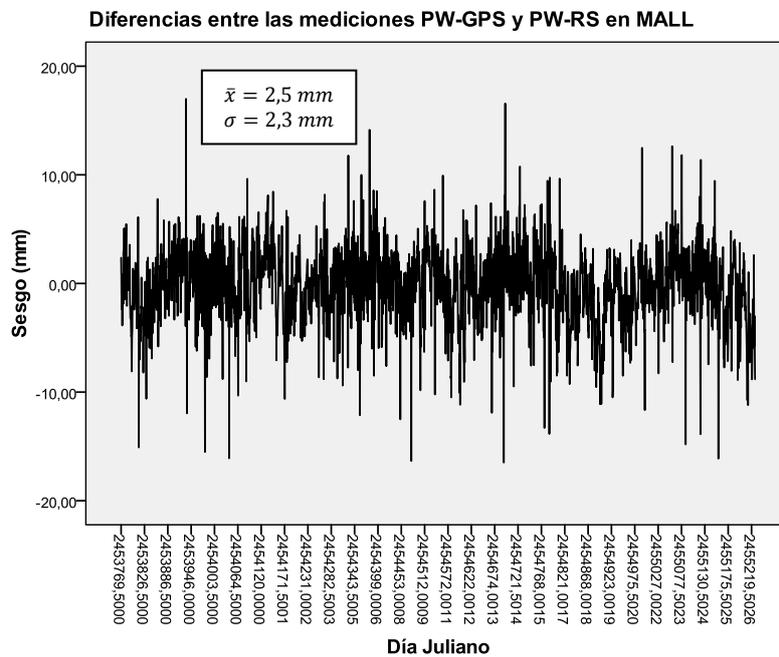


Gráfico 9 Diferencia entre los datos de PW-GPS y PW-RS de la estación de MALL.

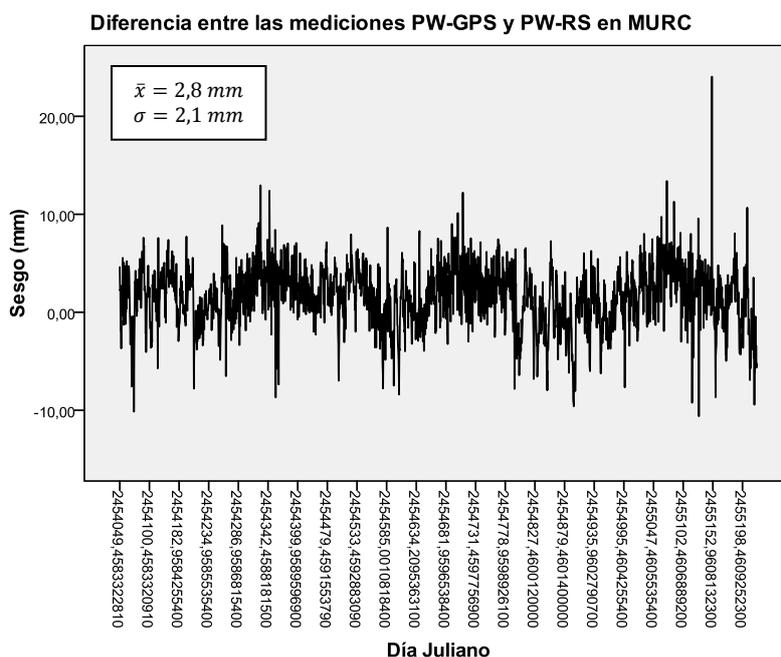


Gráfico 10 Diferencia entre los datos de PW-GPS y PW-RS de la estación de MURC.

En estos gráficos (concretamente en el 2, 3, 4, 8, 9 y 10) queda representado en el eje de las abscisas el Día Juliano y en el eje de las ordenadas las mediciones de PW por ambos métodos medidas en mm. El calendario juliano es el antecesor del calendario gregoriano y se basa en el movimiento del sol para medir el tiempo. En el mismo año 1582, José Scaliger de Leyden fijó una escala continua de tiempo fijando su origen en el 1 de enero del año 4713 a. C. a las 12h del mediodía (en esta época el día empezaba a mediodía y no como es costumbre ahora, en que el día comienza a medianoche) y contando los días solares correlativamente. Este número se llama fecha juliana. Así la fecha juliana (JD) es una cuenta continua de días y fracciones de estos contados desde el mismo período inicial.

De esta manera se indican las fechas de comienzo y final de esta comparativa, por ejemplo, para la estación de ZARA. El comienzo fue el 1 de enero de 2007, que equivale al día juliano 2454132,00 y la fecha de fin que fue el 31 de diciembre de 2008, corresponde al día juliano 2454862,00.

Tras exponer los resultados, se observa de manera visual en los gráficos 2, 3 y 4 que las medidas realizadas por ambos aparatos de la variable PW son prácticamente idénticas. En los gráficos 5, 6 y 7, se puede ver la relación entre ambas medidas de una manera objetiva, mediante un ajuste lineal (correlación entre ambos parámetros). Así pues, se observa como en

la estación de ZARA existe un coeficiente de determinación de 0,81 o lo que es lo mismo, un coeficiente de correlación de Pearson de 0,9. En cuanto a la estación de MALL se trata, el coeficiente de determinación fue algo más alto que el anterior, de 0,84, lo que equivale a un coeficiente de correlación de Pearson de 0,92. Por último la estación de MURC, presenta el coeficiente de determinación más alto, de 0,88, lo que equivale a un coeficiente de correlación de Pearson de 0,94.

Esto lleva a la conclusión de que el ajuste es muy bueno en cualquiera de los casos y de que por tanto las medidas tomadas de agua precipitable tanto por GPS como por RS, son muy parecidas. Ello se demuestra con las correlaciones obtenidas, las cuales están comprendidas entre el 90% y el 94%.

A parte de esta comparativa, también se estudió el sesgo (error sistemático de observación) como puede observarse en los gráficos 8, 9 y 10. Este parámetro es la diferencia entre las medidas de los dos métodos, y se puede observar como el valor medio de éste en estos casos es relativamente bajo. Para la estación de ZARA el sesgo medio es de 2,3 mm, de 2,5 mm es el de la estación de MALL y de 2,8 mm en el caso de la estación de MURC. Además se puede ver que las desviaciones típicas de ambas medidas también son bajas (ver gráficos 8, 9 y 10), lo que quiere decir que aparte de que el sesgo medio es bajo, las diferencias máximas, también lo van a ser.

Por tanto se puede exponer que la metodología GPS estima de manera precisa la cantidad de PW existente en la atmósfera, ya que queda validada por la tecnología de las radiosondas. Estos resultados aquí obtenidos son mejores incluso que los obtenidos por uno de los principales investigadores en este tema, Olivier Bock (2007), el cual obtuvo unos sesgos de entre 1 y 6,5 mm, siendo nuestro sesgo más alto de 2,8 mm y unas correlaciones entre el 81 y 96%, rango entre las cuales también se encuentran nuestras correlaciones. Behrend en 2002, también fue otro de los autores que investigó sobre este hecho y que obtuvo un sesgo de 4,5 mm (mayor que el obtenido en este trabajo) y una correlación del 90,8%, ligeramente menor que nuestras correlaciones (excepto para ZARA, que posee un valor del 90%).

De esta manera se eliminan dos de las principales limitaciones que existían al medir la variable PW mediante los RS. Una de ellas es el volumen de datos, ya que los RS tan solo toman dos datos por día y por tanto se obtienen un total máximo al año de 730 valores de PW, frente a los 8760 que proporciona la tecnología GPS al obtener datos horarios. El segundo es la

superficie cubierta por ambas metodologías. Por ejemplo en España, tenemos tan solo 8 estaciones de RS instaladas, frente a las más de 100 estaciones de referencia que existen de GPS en nuestro país. Éstas se encuentran repartidas en redes a lo largo de toda la península como pueden ser la RGAN (Red de Geodesia Activa en Navarra) con 14 estaciones de referencia, ERVA con 8 estaciones, ITACYL (Instituto Técnico Agrícola de Castilla y León) con más de 40 antenas y receptores instalados de GPS...

Por tanto queda validada dicha tecnología para la estimación del PW atmosférico, lo cual permite seguir adelante con este estudio y saber que los datos obtenidos son fiables.

7.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE PRESIÓN Y PRECIPITACIÓN FRENTE AL PW-GPS

Antes de comenzar a realizar análisis alguno, se detallan una serie de términos de interés, como son los de presión atmosférica, precipitación y PW-GPS:

- ✓ La presión atmosférica en un punto representa el peso de una columna de aire de área de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera, por lo que cuanto menor sea la altura a la cual nos encontremos, mayor será la presión atmosférica presente. La presión atmosférica en un lugar determinado experimenta variaciones asociadas con los cambios meteorológicos. La presión atmosférica decrece a razón de 1 mm Hg por cada 10 m de elevación en los niveles próximos al mar. La presión atmosférica media adoptada como estándar al nivel del mar es 1013,25 mbar o 760 mm Hg.

Si bien, pese a que presiones atmosféricas bajas pueden indicar un centro de bajas presiones o centro de inestabilidad (generación de una borrasca) o unas presiones atmosféricas altas, un centro de altas presiones o una atmósfera estable (lo que es lo mismo que un anticiclón), por sí sola no va a ayudar a predecir el tiempo. En este caso se combina con la variable PW-GPS para intentar lograr este fin.

- ✓ La cantidad de agua que cae a la superficie terrestre procedente de la atmósfera, se denomina precipitación. Estas pueden ser de forma líquida, como la lluvia; o sólida, como la nieve o el granizo. El origen de las precipitaciones se debe a que el aire caliente pesa menos que el frío, por lo que tiende a elevarse, y que el aire al elevarse se enfría, lo que da lugar a una condensación del vapor de agua y por consiguiente a la aparición de las nubes y de las lluvias. Para comprobar la relación entre las precipitaciones y la presión atmosférica en la que una bajada de presiones implica una

inestabilidad atmosférica y una subida en las mismas conduce a un periodo de estabilidad se ha estudiado el comportamiento de este parámetro unido al agua precipitable, PW-GPS.

- ✓ Como ya se ha explicado a lo largo de los capítulos de introducción, el PW-GPS define la cantidad agua precipitable existente en la troposfera medida en mm mediante la tecnología GPS. Se trata de vapor de agua que potencialmente puede caer en forma de precipitación a la tierra o que puede ser distribuida a lo largo de la atmósfera en función del viento dominante en cada instante, por lo que dicho parámetro es variable tanto en el espacio como en el tiempo. Lógicamente cuanto mayor sea el valor del PW mayor probabilidad de lluvia existirá, pero al igual que nos ocurría con la presión no es un parámetro del cual se puedan sacar conclusiones individualmente ya que depende de otros. Por ello se combinará con otros factores como la presión para intentar sacar conclusiones sobre la influencia del mismo en las precipitaciones.

Por tanto queda definido lo que es una zona de altas presiones o un anticiclón y una zona de bajas presiones o borrasca y también se ha hablado de que valores altos de PW pueden dar origen a lluvia mientras que valores prácticamente nulos de PW no. Sin embargo, no se ha descrito el límite para definir lo que son unas bajas o altas presiones o lo que diferencia un valor de PW alto de otro que no lo es. Para ello y debido a la estacionalidad marcada que presenta tanto la presión a lo largo de un año como el PW, ver gráfico 11, (ya que este último depende de la Tª atmosférica y lógicamente cuanto mayor sea la Tª atmosférica, mayor capacidad tendrá el aire de albergar vapor de agua y mayor cantidad de PW retendrá), se ha evaluado este parámetro para cada mes de estudio.

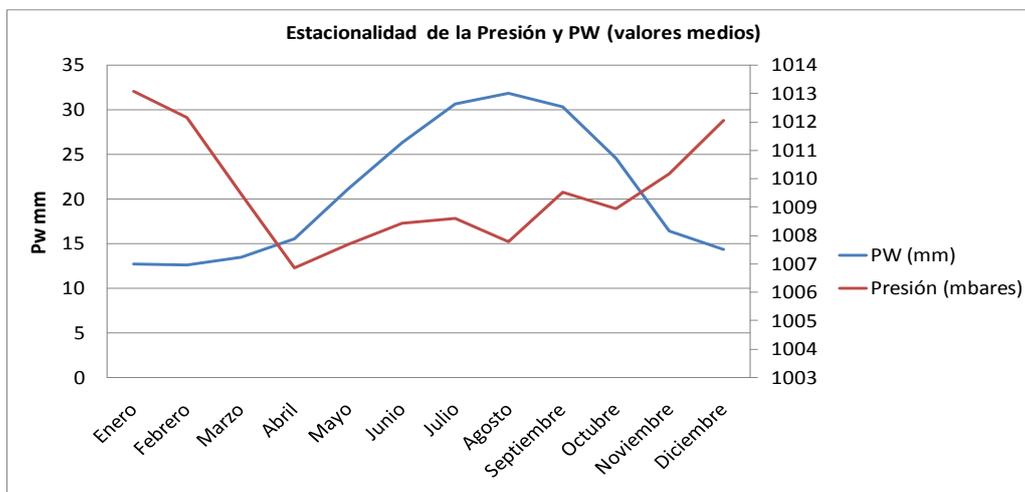


Gráfico 11 Representación de la estacionalidad del PW y de la presión a lo largo del año

Estos datos que aquí se acaban de representar gráficamente, a continuación se exponen numéricamente. Se han calculado cogiendo todos los datos disponibles para cada mes de los 8 años objeto de estudio, por lo que se puede afirmar que son medidas representativas.

DATOS 2001-2009	PW (mm)				Datos		Presión (mbares)				Precip. acumulada (mm)	
	Media	Desv. Típica	Máximo	Mínimo	Total datos/mes	% Datos/mes	Media	Desv. Típica	Máximo	Mínimo		
VALENCIA												
Enero	12.736	5.569	29.690	0.320	5218	87.67	1013.072	7.887	1028.914	989.600	228.600	
Febrero	12.594	5.518	28.840	0.190	5337	98.40	1012.166	8.110	1029.500	984.500	255.000	
Marzo	13.481	5.013	26.870	0.020	5859	98.44	1009.452	6.945	1025.100	984.800	328.900	
Abril	15.591	4.827	30.380	0.590	5596	97.15	1006.861	6.265	1022.800	981.700	292.700	
Mayo	21.096	5.774	42.230	5.020	5250	88.21	1007.685	5.343	1021.200	990.600	441.200	
Junio	26.263	5.775	43.610	7.650	4201	72.93	1008.446	3.787	1016.500	994.700	90.800	
Julio	30.641	6.077	49.150	8.070	5445	91.48	1008.592	3.313	1018.600	996.700	56.900	
Agosto	31.853	6.757	52.970	7.770	5877	98.74	1007.786	3.471	1017.500	996.000	87.100	
Septiembre	30.375	7.756	50.780	8.530	5155	86.61	1009.534	3.857	1017.300	996.700	483.400	
Octubre	24.612	7.319	45.800	3.860	5118	85.99	1008.939	5.719	1021.900	982.200	516.900	
Noviembre	16.384	6.959	39.740	0.050	5475	91.99	1010.189	7.255	1024.000	982.900	209.100	
Diciembre	14.384	5.889	31.010	0.030	5271	88.56	1012.069	7.528	1030.300	983.800	308.300	

Total datos =	63802
---------------	-------

Tabla 7 Exposición de los valores medios, desviación típica, máximo y mínimo de las variables PW y presión en los años de estudio y del nº y volumen de datos con el que se ha operado cada mes. También la precipitación acumulada en el periodo de estudio.

En esta tabla se observan los resultados de los valores normales de PW y Presión para cada mes (media), así como la desviación típica de los valores medios, el valor máximo y el mínimo registrado para el periodo de estudio. En la última columna, se muestra la precipitación acumulada, viendo como los meses de mayor precipitación han sido los de mayo, septiembre y octubre (representado gráficamente en el gráfico 12). También se exponen el nº de datos obtenidos de cada mes y el porcentaje que representan sobre el total para que se pueda ver como en el mes en el que se poseen un volumen de datos menor, el volumen de estos es representativo y hace que este estudio sea fiable. En el mes en el que menor volumen de datos se posee, junio, existe un 72,93% de los datos del mismo. En todos los demás meses el volumen de datos supera el 85%.

La falta de mediciones puede deberse a fallos en la estación meteorológica o en la antena GPS. Por lo general, las antenas GPS no dan problemas a la hora de realizar las mediciones, y se ha observado en la base de datos que se ha ido realizando a lo largo de este tiempo de investigación, cómo cuando comenzaron las estaciones GPS a realizar mediciones, el volumen de datos era mucho menor. Sin embargo conforme han ido pasando los años las técnicas de medición se han ido reformando y en la actualidad se consigue poseer datos RINEX

de estaciones con un volumen de éstos del 98,6% del total (que registran más de 360 datos por año).

Los anemómetros realizan registros diezminutales u horarios y éstos se pueden obtener con facilidad desde la ftp de AEMET (Agencia Estatal de METeorología) en la cual se cuelgan datos de más de 260 estaciones meteorológicas automáticas que se reparten a lo largo de toda la península ibérica. Si bien es cierto que no todas ellas miden presión, con las que hay son suficientes ya que éste, es un parámetro que se mantiene bastante constante a lo largo del espacio, razón por la cual no se registran en todas las estaciones meteorológicas presentes en la península. Son datos fiables y con un volumen sobre el total muy bueno, por lo que para realizar este tipo de estudios siempre vamos a poseer datos con facilidad.

A continuación se representa en el siguiente gráfico, las precipitaciones acumuladas en el periodo de estudio distribuidas por meses para ver de manera visual, la última columna de la tabla 7.

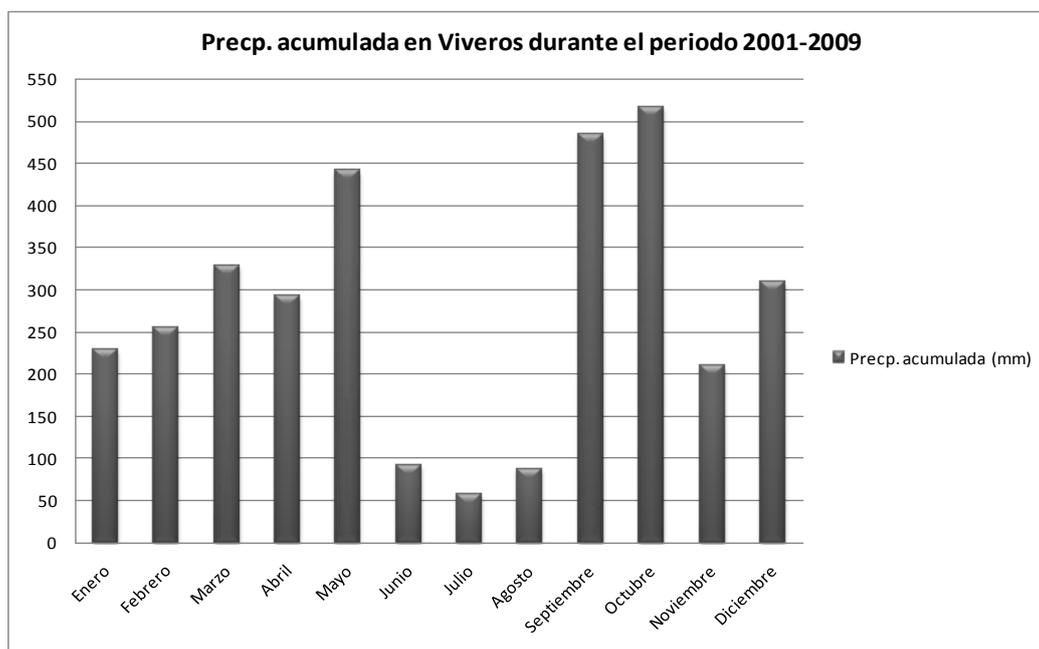


Gráfico 12 Precipitación acumulada en la estación meteorológica de Viveros, Valencia, para el periodo de estudio 2001-2009 (excepto 2005).

Durante el análisis de estos resultados se habla de valores de PW más altos que la media, altos, bajos, etc. ¿Pero que es un PW alto, muy alto o un PW bajo o muy bajo? En la tabla 8, queda respondida la siguiente pregunta y en los grafico 13 y 14, representados dichos valores.

DATOS 2001-2009 VALENCIA	PW (mm)					Presión (mbar)				
	Normal (+5%>PW normal>-5%)					Normal (+0,2%>Pres. normal>-0,2%)				
	Alto (+42%>PW normal>+5%)		Bajo (-42%>PW normal>-5%)			Alta (+1%>Pres. normal>+0,2%)		Baja (-1%>Pres. normal>-0,2%)		
	Muy Alto (>+42%)		Medio		Muy Bajo (<-42%)	Muy alta (>+1%)		Media		Muy baja (<-1%)
(+42%)	(+5%)		(-5%)	(-42%)	(+1%)	(+0,2%)		(-0,2%)	(-1%)	
Enero	18.09	13.37	12.74	12.10	7.39	1025.25	1015.10	1013.07	1011.05	1000.94
Febrero	17.88	13.22	12.59	11.96	7.30	1024.33	1014.19	1012.17	1010.14	1000.04
Marzo	19.14	14.16	13.48	12.81	7.82	1021.59	1011.47	1009.45	1007.43	997.36
Abril	22.14	16.37	15.59	14.81	9.04	1018.96	1008.88	1006.86	1004.85	994.80
Mayo	29.96	22.15	21.10	20.04	12.24	1019.80	1009.70	1007.68	1005.67	995.61
Junio	37.29	27.58	26.26	24.95	15.23	1020.57	1010.46	1008.45	1006.43	996.37
Julio	43.51	32.17	30.64	29.11	17.77	1020.72	1010.61	1008.59	1006.57	996.51
Agosto	45.23	33.45	31.85	30.26	18.47	1019.90	1009.80	1007.79	1005.77	995.71
Septiembre	43.13	31.89	30.37	28.86	17.62	1021.67	1011.55	1009.53	1007.51	997.44
Octubre	34.95	25.84	24.61	23.38	14.28	1021.07	1010.96	1008.94	1006.92	996.85
Noviembre	23.26	17.20	16.38	15.56	9.50	1022.33	1012.21	1010.19	1008.17	998.09
Diciembre	20.42	15.10	14.38	13.66	8.34	1024.23	1014.09	1012.07	1010.04	999.94

Tabla 8 Representación de los valores muy altos, altos, medios, bajos y muy bajos para las variables estudiadas (PW y presión)

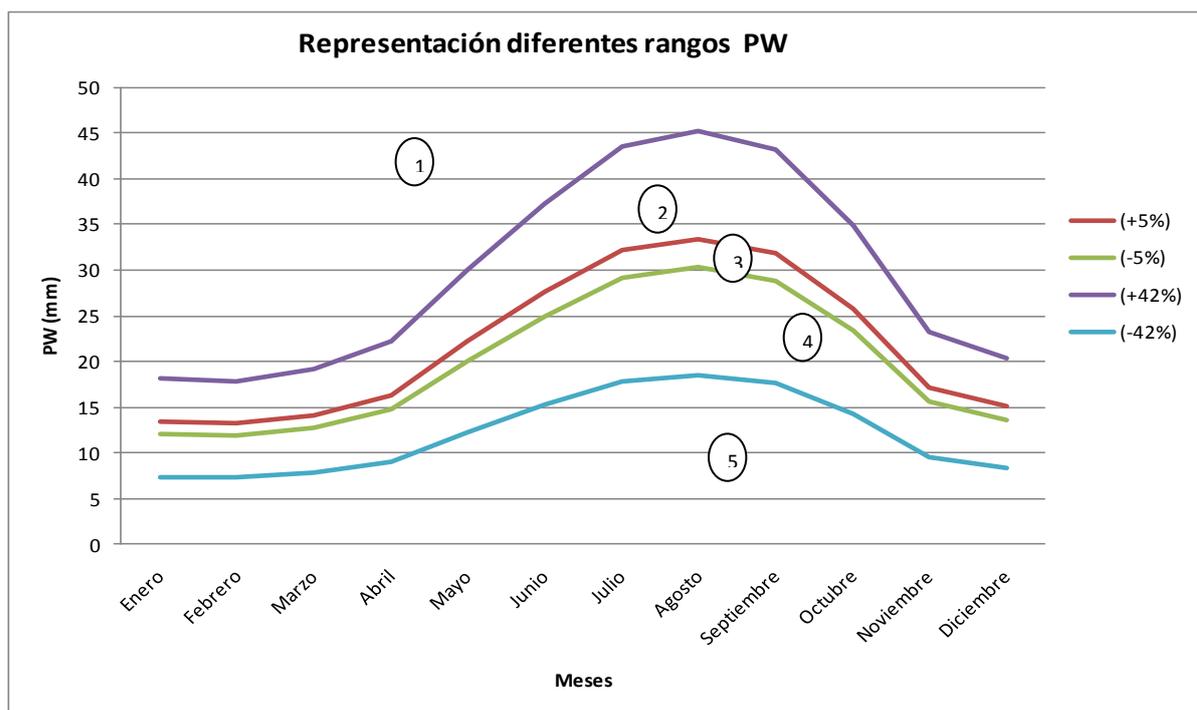


Gráfico 13 Representación gráfica de los valores de PW muy altos, altos, medios, bajos y muy bajos.

Así pues en el gráfico 13 se diferencian claramente 5 áreas. En el área comprendida entre las líneas de +5% y -5%, que equivale al área 3, se encuentran los valores normales de PW para cada uno de los meses. Entre las líneas de +5% y +42%, se encierra el área dos que comprende los valores altos de PW. Por encima de la línea de +42%, se observa el área 1, en la cual se encuentran los valores de PW muy altos.

Por último en el área 4 comprendida entre las curvas -5% y -42%, se encuentran los valores bajos de PW y por debajo de la curva de -42% se ven los valores de PW muy bajos.

En el gráfico 14, se van a representar de nuevo otras 5 áreas que corresponden a los que son presiones muy altas (área 1), altas (área 2), normales (área 3), bajas (área 4) y muy bajas (área 5), cambiando los límites de cada una de ellas y siendo ahora el límite entre una presión alta y una normal +0,2%, entre una alta y una muy alta + 1%, entre una normal y una baja -0,2% y entre una baja y una muy baja, -1%.

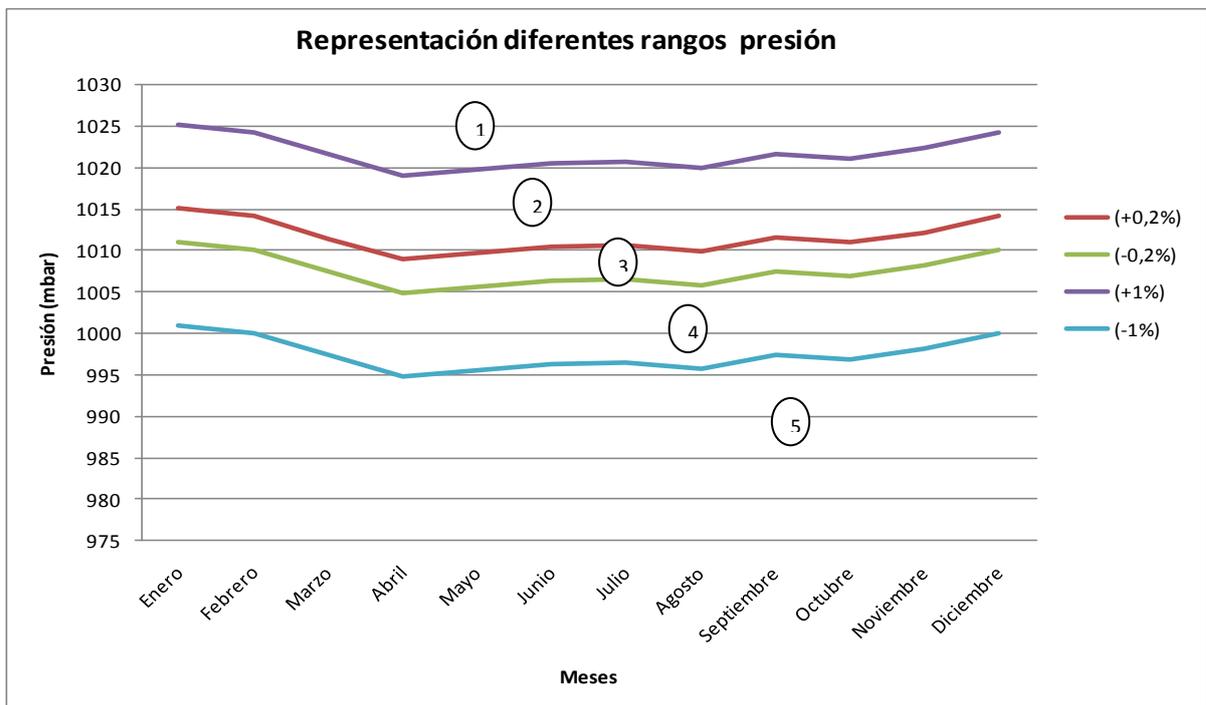


Gráfico 14 Representación gráfica de de los valores de presión muy altos, altos, medios, bajos y muy bajos.

A continuación se exponen los gráficos de PW-presión-precipitación y se irán comentando las conclusiones obtenidas a partir de ellos. En cada uno de estos gráficos quedará representada en verde la presión en mbares (eje secundario), en azul el PW en mm y en rojo la precipitación medida en décimas de mm o en mm (eje principal ambos) en función de cada caso. En negro se representan los límites de PW (para cada caso particular la línea que separa un PW medio de uno bajo...) y en gris y de igual manera los límites de presión. En el eje de las abscisas se encuentra el tiempo medido en horas. Tras las gráficas y en unas tablas explicativas, se expone la duración de la tormenta, la intensidad, la precipitación acumulada y los incrementos de PW tanto antes como después de la tormenta.

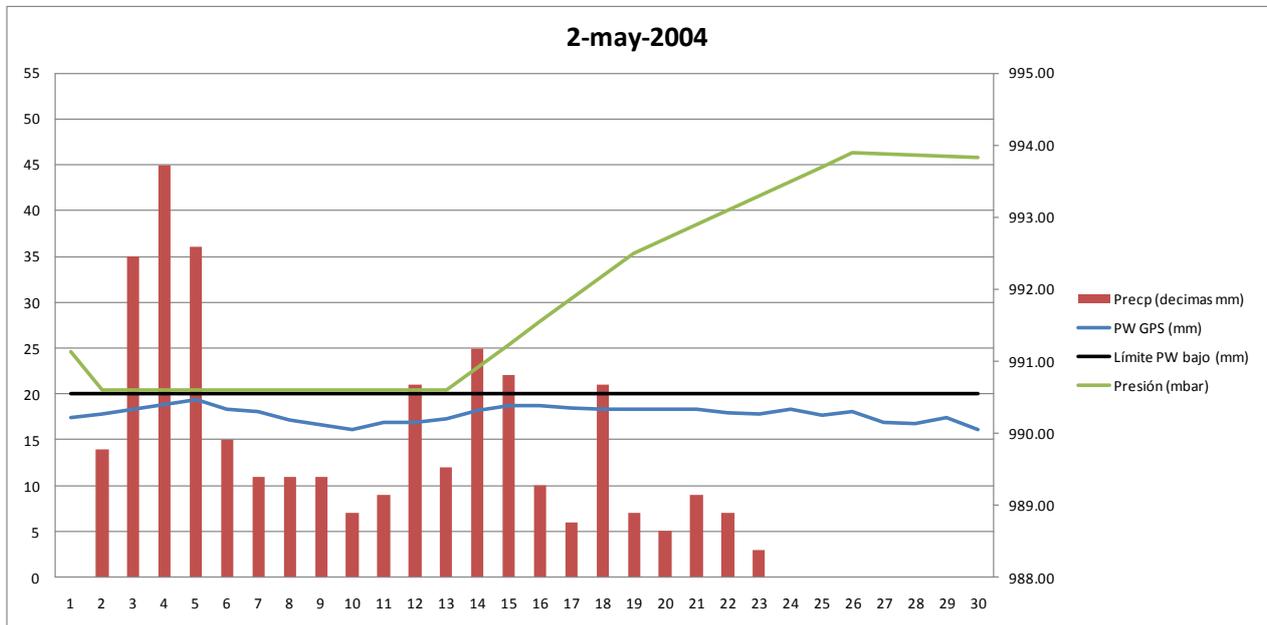


Gráfico 15 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 2-mayo-2004

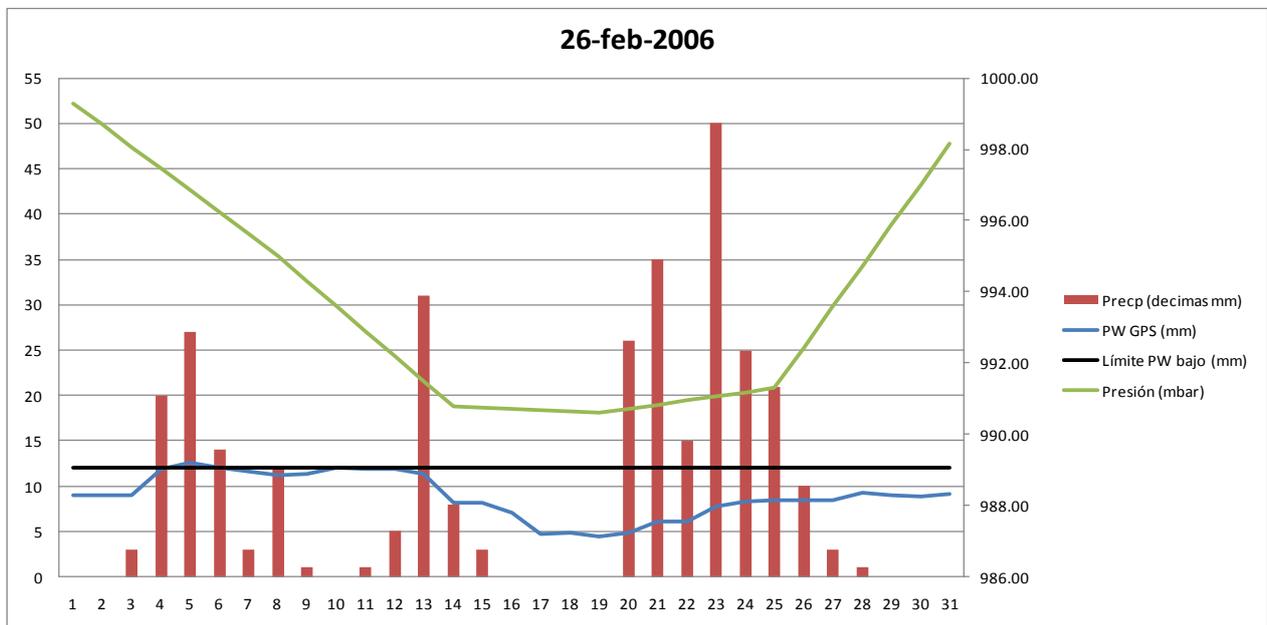


Gráfico 16 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 26-febrero-2006

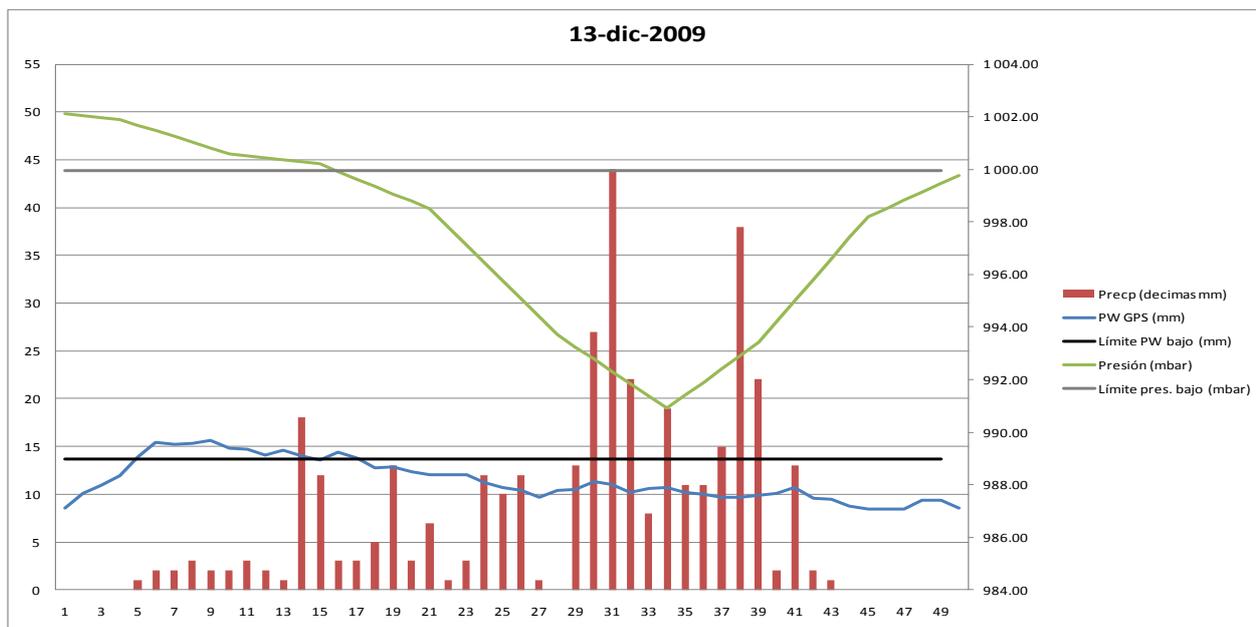


Gráfico 17 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 13-diciembre-2009

	Duración (h)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Δ PW antes lluvia (mm)	Δ PW tras lluvia(mm)
Gráfico 15	22	1.55	34.2	17,39 - 19,32 = 2,57	19,32 - 17,62 = 1,7
Gráfico 16	25	1.26	31	3,19 - 11,99 = 8,8	11,99 - 4,75 = 7,24
Gráfico 17	39	0,95	36,9	9,84 - 15,66 = 5,82	15,66 - 8,72 = 6,94

Tabla 9 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 15, 16 y 17

En estos 3 primeros gráficos, se muestra como se observa en la tabla 9, tormentas de larga duración (en cualquier caso mayor de 20 horas) y baja intensidad. Son dos características de las tormentas que vienen provocadas por unos valores bajos de PW y muy bajos de presión.

En el gráfico 15, se caracteriza por poseer valores de PW siempre bajos, entre los 19,32 mm y 17,62 mm y valores de presión que aunque ascienden, son muy bajos y van desde valores inferiores a 16 mbares por debajo de la media hasta valores de 994 mbar.

En el gráfico 16, la presión describe una vaguada siendo siempre inferior a los 1000 mbar y estando, por tanto muy por debajo de la media, que son los 1012,2 mbar. Además cuando esta alcanza sus valores mínimos, se producen las mayores precipitaciones. Estos valores muy bajos de presión provocan que incluso con valores muy bajos de PW, exista lluvia. En este gráfico los valores de PW son prácticamente siempre inferiores a 12 mm.

En el gráfico 17, se observa como la presión desciende bruscamente hasta alcanzar un mínimo relativo de 990,9 mbar, a partir del cual se recupera, manteniéndose excepto al comienzo, siempre con valores por debajo de los valores medios para el mes de febrero

(valores muy bajos). El PW es menor que la media en prácticamente todo el gráfico. Al comienzo de la tormenta tenemos valores normales de PW, pero que enseguida decrecen hacia valores bajos.

Estas tormentas por tanto se producen como ya se ha explicado con **valores bajos de PW y muy bajos de presión** (área 4 del gráfico 13 y área 5 del gráfico 14). En ellas **el factor limitante** que provoca que sean tormentas de baja intensidad es el bajo valor de **PW**, ya que si no hay una gran cantidad de agua precipitable en la atmósfera, es imposible que las precipitaciones sean intensas. A estas tormentas se les denomina como **tormentas de tipo I**.

Como se puede observar estas tormentas se producen fundamentalmente en los meses de invierno y primavera, lo que indica que pueden estar asociadas a frentes atlánticos, que son los frentes cargados de lluvia que vienen desde el oeste de la Península procedentes del océano Atlántico y cruzan todo el país. Ello provoca que lleguen muy débiles a la costa este mediterránea y con una cantidad de PW bajo, por lo que las lluvias que dejan a su paso son suaves y duraderas, con intensidades y cantidad de agua precipitada total muy bajas. Como ya se ha mencionado (ver gráfico 12) pertenecen a tormentas generalmente invernales y a meses de baja precipitación, como son enero y diciembre.

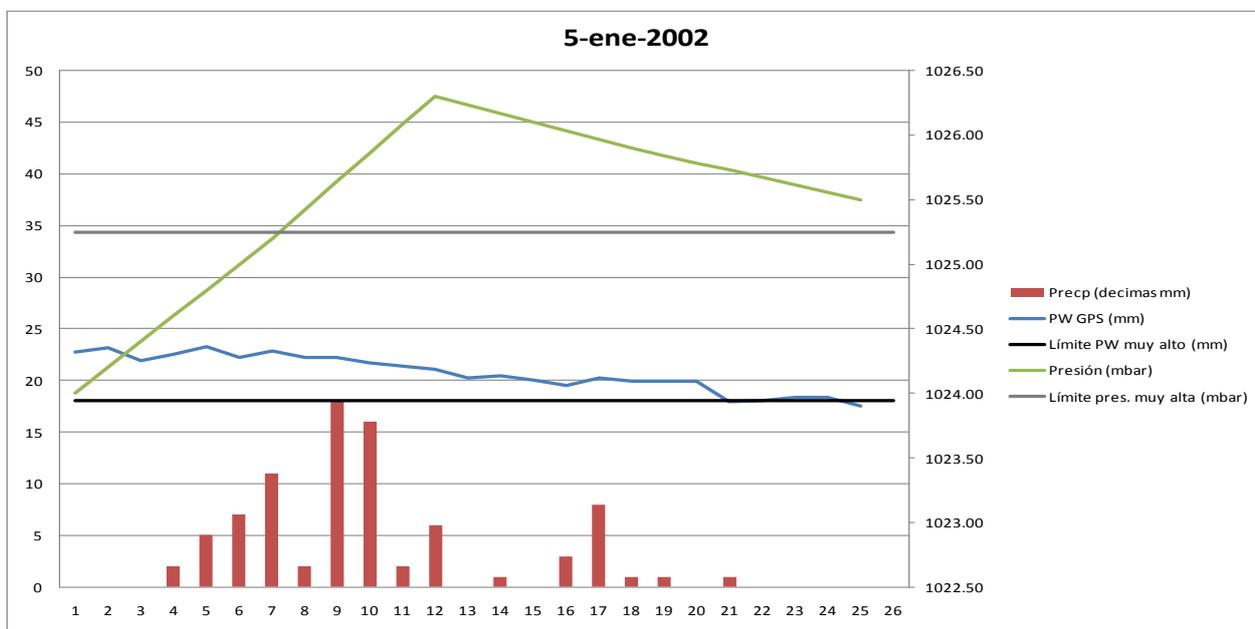


Gráfico 18 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 5-enero-2002

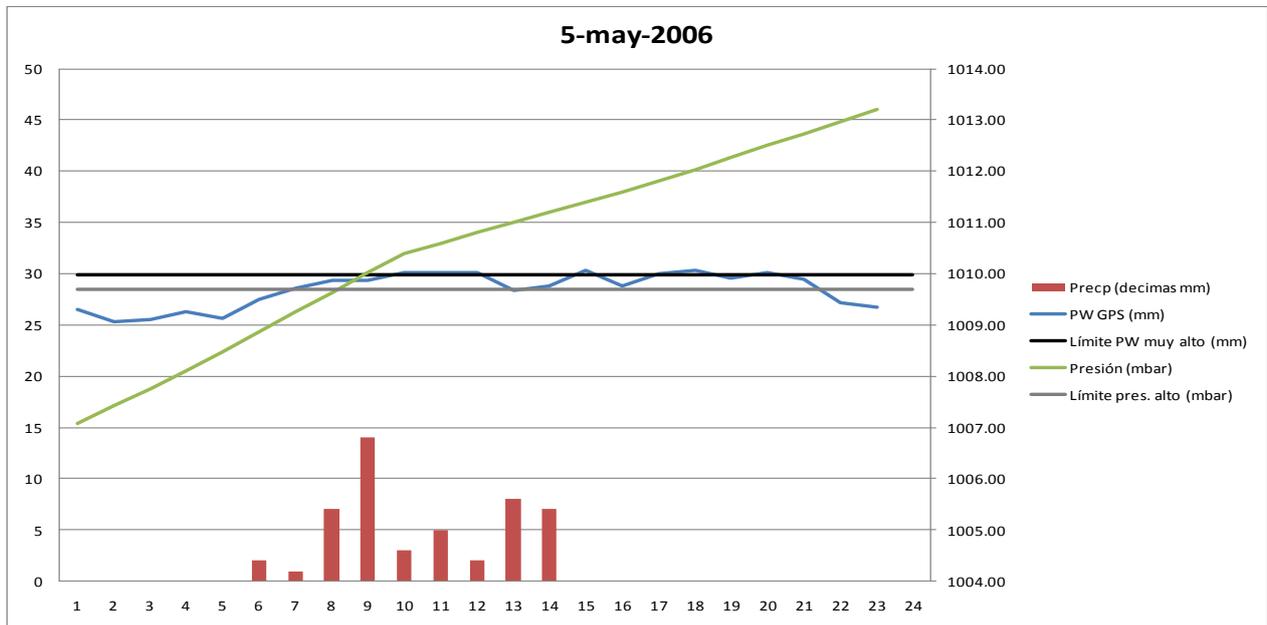


Gráfico 19 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 5-mayo-2006

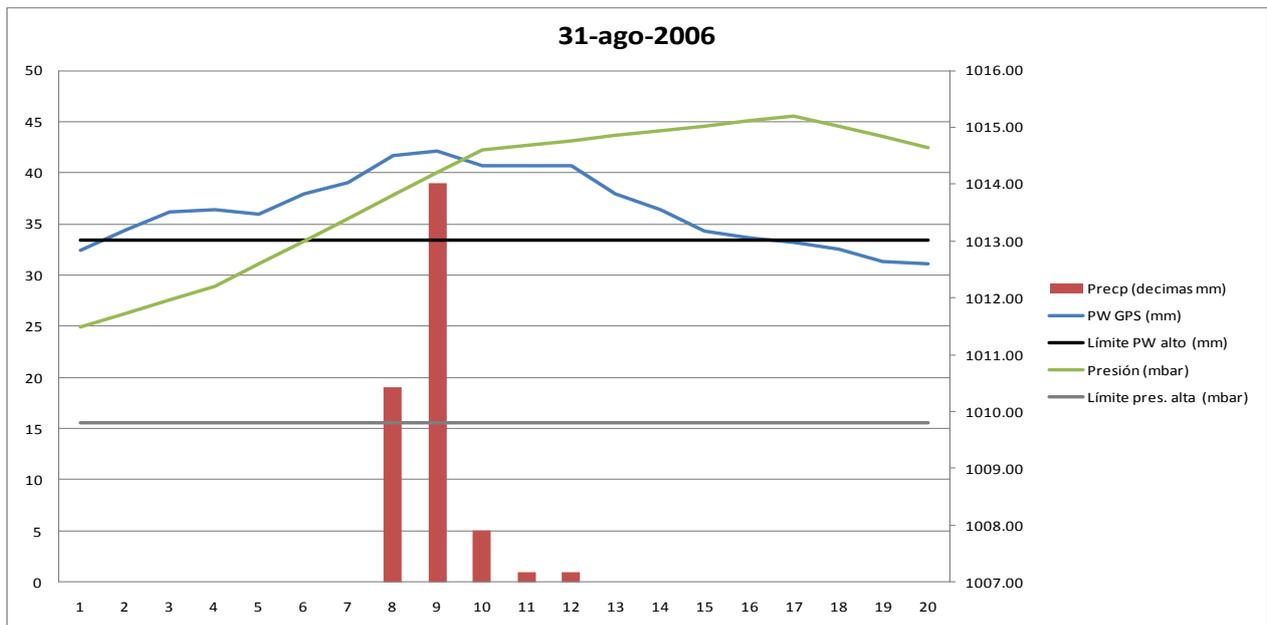


Gráfico 20 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 31-agosto-2006

	Duración (h)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Δ PW antes lluvia (mm)	Δ PW tras lluvia(mm)
Gráfico 18	18	0,467	8,4	21,69 - 23,28 = 1,59	23,28 - 17,2 = 6,08
Gráfico 19	9	0,54	4,9	25,37 - 30,13 = 4,76	30,13 - 28,76 = 1,37
Gráfico 20	5	1,3	6,5	34,38 - 42,15 = 7,77	42,15 - 33,23 = 8,92

Tabla 10 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 18, 19 y 20

Los patrones que rigen los gráficos 18, 19 y 20 son un alto o muy alto valor tanto del PW (áreas 1 y 2 del gráfico 13 para el PW y del gráfico 14 para la presión) como de la presión, lo cual conlleva a que se obtengan precipitaciones de baja intensidad no mayores de 1,3 mm/h y poca precipitación acumulada. Dentro de este tipo de tormentas, existen duraciones muy dispares y como prueba de ello se han seleccionado 3 tormentas de diferentes duraciones para corroborarlo. Existen por tanto (tabla 10) desde tormentas de duración de escasas horas, como el caso de la tercera tormenta estudiada (5 horas), hasta tormentas que duran casi un día entero (18 horas).

Este primer evento estudiado posee tanto valores de PW como de presión muy altos. El PW posee una pequeña subida justo al comenzar la tormenta y a lo largo de esta describe una trayectoria descendiente (al agotarse a medida que precipita) pero siempre con valores muy altos. La presión presenta una trayectoria ascendente hasta un máximo relativo de 1026,30 mbar, para a partir de éste descender progresivamente. La tormenta se detiene ya que el PW tras el paso de la tormenta, baja hasta valores altos, lo que implica que teniendo valores muy altos de presión la tormenta cese.

La segunda de las tormentas analizadas en este bloque, presenta unos valores de PW bastante constantes durante toda ella. Se observa como al comienzo de esta se produce un incremento de casi 5 mm en el PW, que es lo que desencadena ese fenómeno atmosférico. En cuanto a la presión, ésta comienza la tormenta con valores medios, pero sigue una trayectoria ascendente que la eleva hasta valores altos al comienzo de la tormenta, por lo que durante 7 de las 9 horas en las que se produce la tormenta, ésta se encuentra con valores superiores a los normales. Debido a que la presión sigue aumentando, es ésta la que detiene la lluvia, ya que el PW tras la tormenta apenas sufre variación.

En cuanto al gráfico 20, se expone que siempre se van a encontrar con valores de presión altos y ascendentes y con un PW muy variable que posee un ascenso desde valores medios hasta valores altos justo antes del comienzo de la tormenta y que tras ésta, se agota y descende hacia los valores normales nuevamente. Aquí el factor que provoca la detención de la tormenta es tanto el valor del PW que descende como el de la presión, que continua aumentando hasta superar los 1015 mbar.

Por tanto se concluye este nuevo apartado de 3 eventos, exponiendo que poseen en común **valores altos o muy altos tanto de PW como de presión**. También se caracterizan por

ser tormentas de variable durabilidad y baja intensidad. En estos eventos el factor limitante no es el PW como ocurría con anterioridad, ya que el valor de éste, es alto en todos los casos o muy alto como en el primero. En estas tormentas **el factor limitante es la presión** ya que en cuanto alcanza valores proporcionalmente más altos de los que alcanza el PW las tormentas se detienen aunque el PW sea alto. Estas tormentas se llamarán tormentas de tipo II.

Son tormentas que se producen con una variabilidad temporal muy acusada, ya que de los tres casos seleccionados, uno transcurre en pleno invierno, como es el del 5 de enero, otro en plena primavera y en uno de los meses más lluviosos como es mayo y el último en verano, como es el caso de la tormenta del 31 de agosto.

Esta variabilidad temporal dificulta su asociación al tipo de fenómeno meteorológico que las desencadena. Así pues, la tormenta de verano (31 de agosto de 2006) se asocia a las típicas tormentas convectivas que se producen en esta época y que pueden o no ser más virulentas o intensas. En este caso y debido a la presión su intensidad es débil. La tormenta producida el 5 de mayo, debido a su alto contenido en vapor de agua, ya que el valor del PW se encuentra en el límite entre valores altos y muy altos, hace pensar que puede estar asociada a una ciclogénesis mediterránea, ya que se produce en el tercer mes con mayor precipitación (ver gráfico 12) y porque éste, es un mes con probabilidad de ocurrencia de la gota fría (ver figura 17). Como ya se ha mencionado (apartado 3.3) no todas las gotas frías desencadenan procesos de alta intensidad, y ésta debido al alto valor de la presión, el cual puede ser el factor que provoca su debilidad, no es muy virulenta. Por último, la tormenta del 5 de enero, pese a que por la fecha de ocurrencia podría asociarse a un frente atlántico, es difícil que se originase mediante dicho fenómeno. El alto valor del PW provoca que se descarte este tipo de origen de la tormenta ya que el PW en la atmósfera en ese instante es muy abundante y estos frentes, a Valencia llegan muy debilitados (tras sobrevolar toda la península) y como se ha visto con anterioridad con bajo valor de PW. Por ello, debido al alto valor del agua precipitable y al encontrarse en una época de probabilidad de ocurrencia de la gota fría, se podría asociar también este evento a una ciclogénesis, las cuales al formarse con presiones muy elevadas no dan origen a grandes e intensas precipitaciones.

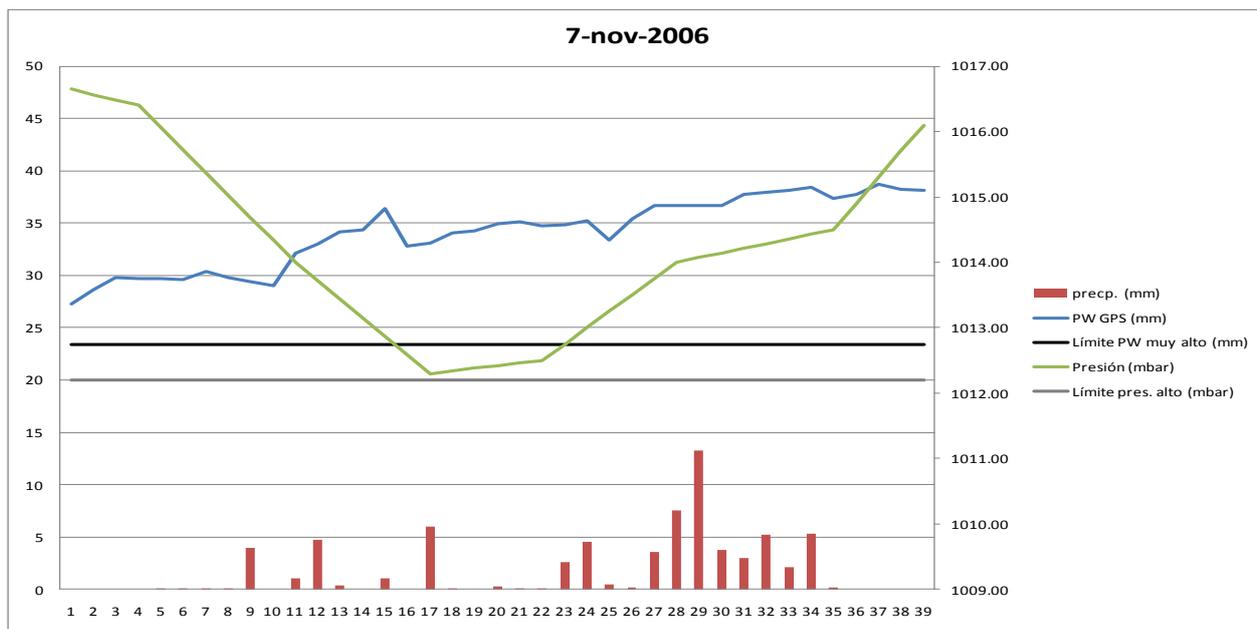


Gráfico 21 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 7-noviembre-2006

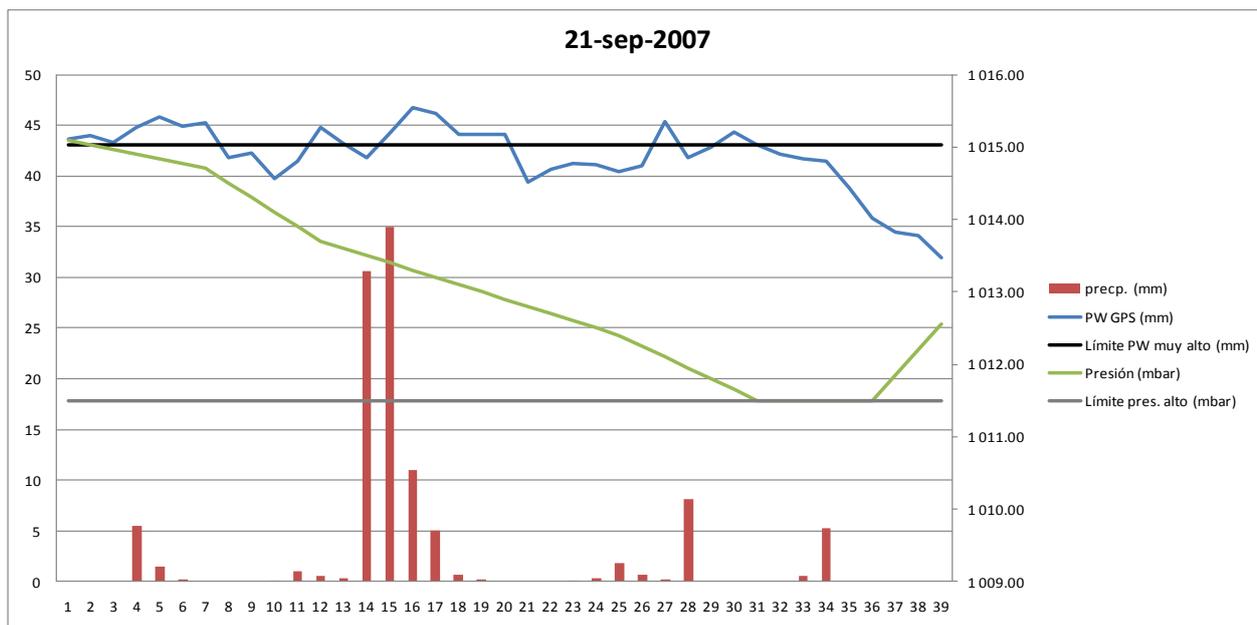


Gráfico 22 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 21-septiembre-2007

	Duración (h)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Δ PW antes lluvia (mm)	Δ PW tras lluvia(mm)
Gráfico 21	31	2,25	69,8	27,25 - 36,37 = 9,12	36,37 - 35,9 = 0,47
Gráfico 22	31	3,49	108,3	41,38 - 46,73 = 5,35	46,73 - 31,93 = 14,8

Tabla 11 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 21 y 22

Estas tormentas quedarán agrupadas debido a que poseen valores de presión altos y de PW muy altos, que equivalen a las áreas 1 del gráfico 13 de PW y 2 del gráfico 14 de presión. En ambas la precipitación va medida en milímetros a diferencia de las anteriores que iban medidas en décimas de milímetros.

En el primero de esta serie de gráficos, el PW desde su partida ya posee valores muy altos. Sin embargo la presión también posee valores altos a su comienzo que inhiben la precipitación, pero son valores descendientes. Es a partir de alcanzar valores por debajo de 1015 mbar cuando se inicia la tormenta. Una vez que esta estalla deja a su paso 31 horas de lluvia intensa alcanzándose máximos de intensidad de precipitación de 13,3mm/h. Esta finaliza de nuevo cuando la presión vuelve a ascender, pese a que existan unos valores de PW muy altos. Por tanto la precipitación se produce en esa vaguada que describe la presión, cuando los valores de ésta son más bajos (aunque siempre altos).

El 21 de septiembre de 2007, se presenta la segunda mayor tormenta del periodo de estudio. Tormenta que transcurre durante a estación con máxima probabilidad de ocurrencia de la gota fría, por lo que esta tormenta analizada puede que sea provocada por una de ellas. En ella ocurre lo mismo que en la anterior para que se desencadene la tormenta, sin embargo en esta tormenta el PW es muy fluctuante lo que provoca que se produzca una tormenta interrumpida en el tiempo. Aquí cuando los valores son muy altos, se produce lluvia pero cuando estos bajan a valores altos la lluvia se detiene inhibida por la presión. En esta tormenta se registran valores en horas puntuales de 30,6 mm y 35 mm. Esta tormenta llega a su fin ya que se produce tras su paso un descenso muy brusco del PW que baja hasta valores normales y además debidos a que la presión se recupera y alcanza valores algo mayores. En ella los valores de presión siempre son altos.

A diferencia de las anteriores, estos eventos poseen una mayor intensidad y una larga duración. Se caracterizan por tener valores de **presión altos** frente a valores de **PW muy altos**, que son los que provocan la lluvia. Por lo que afirmaremos que el **factor causante de la lluvia es ese valor muy alto de PW**. Estas tormentas, en las que la precipitación está representada en mm (no en décimas de mm como ocurre en los casos anteriores) pasarán a denominarse, tormentas de tipo III.

Como ya se ha mencionado en la tormenta del 21 de septiembre, éstos son fenómenos virulentos e intensos que dejan abundantes precipitaciones de alta intensidad. Por ello y

debido al periodo de ocurrencia de estas dos tormentas (ambas en primavera), una en septiembre, segundo mes de mayor probabilidad de ocurrencia de la gota fría y segundo mes de mayor precipitación (ver figura 17 y gráfico 12) y la otra en noviembre, el cual pese a ser uno de los meses de menor precipitación acumulada en el periodo de estudio sí que es un mes con probabilidad de ocurrencia de la gota fría, se puede pensar que las tormentas que se producen bajo estas condiciones están asociadas a ciclogénesis que en este caso particular de Valencia, se asocian prácticamente a la gota fría.

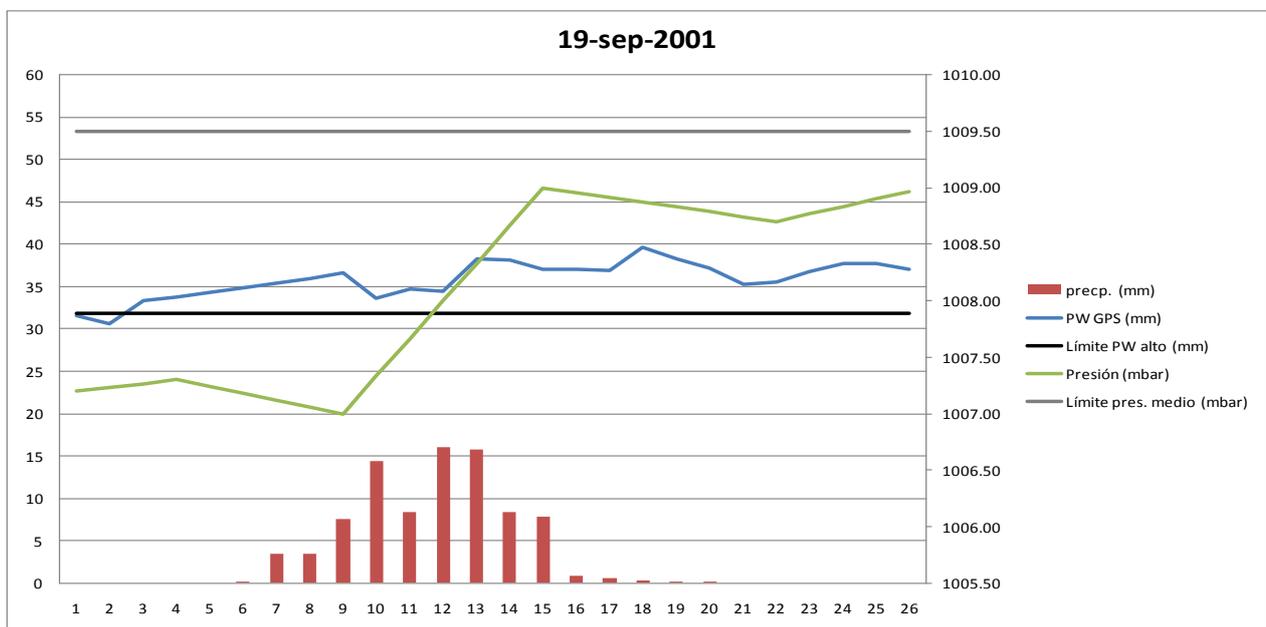


Gráfico 23 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 19-septiembre-2001

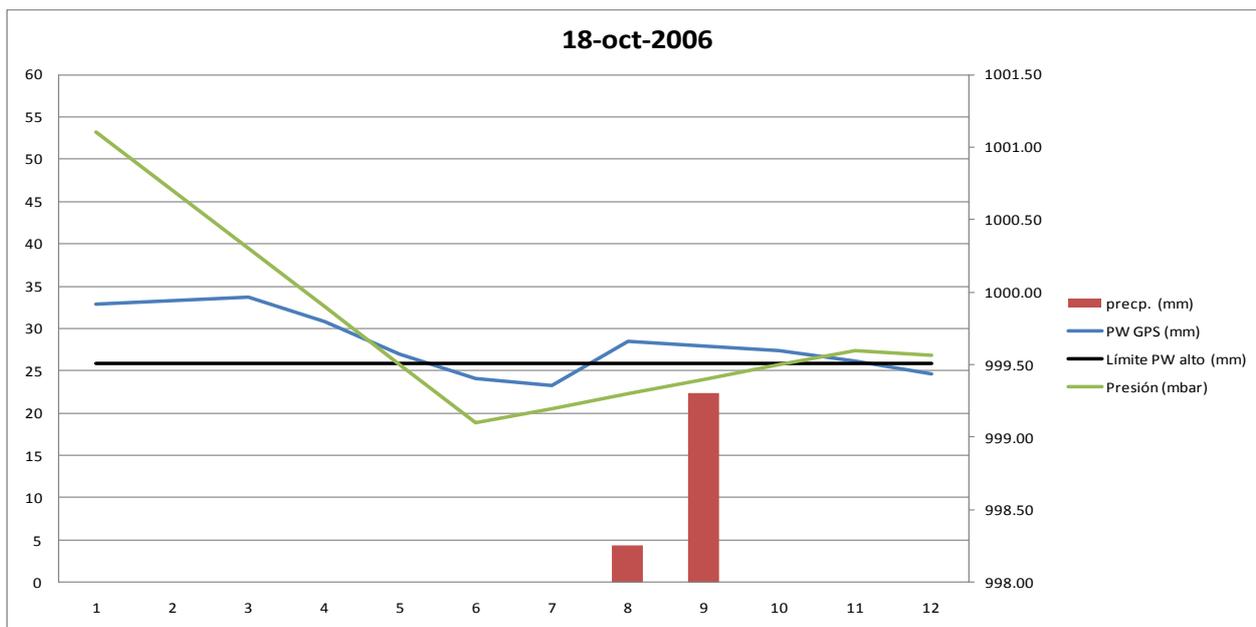


Gráfico 24 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 18-octubre-2006

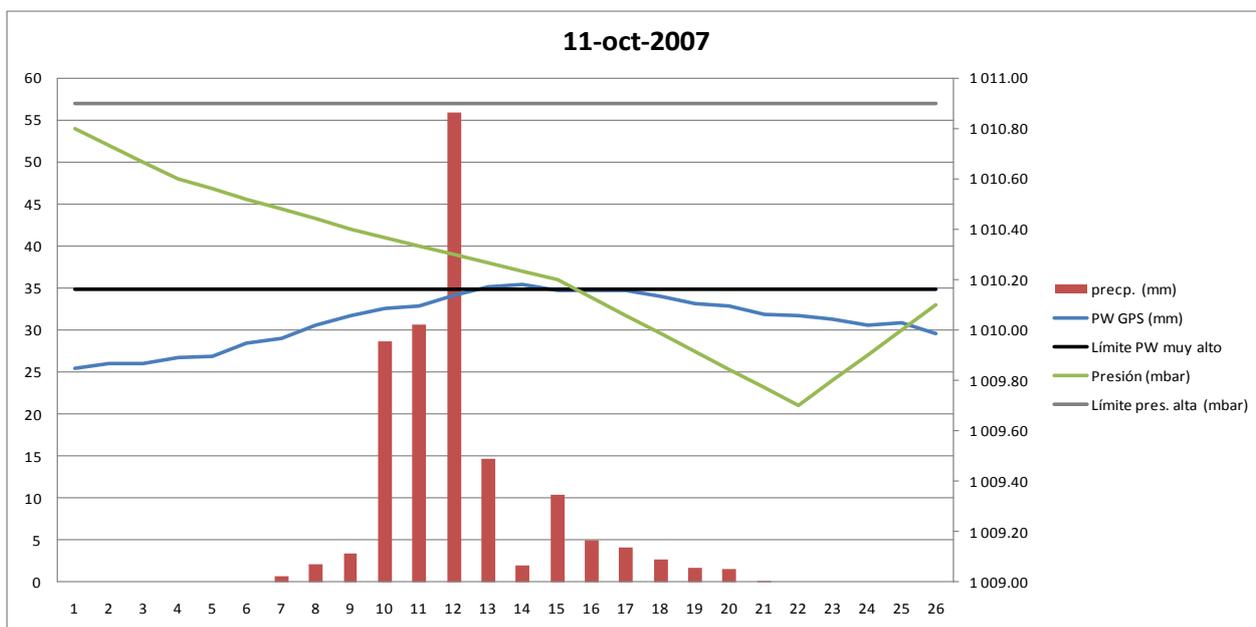


Gráfico 25 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 11-octubre-2007

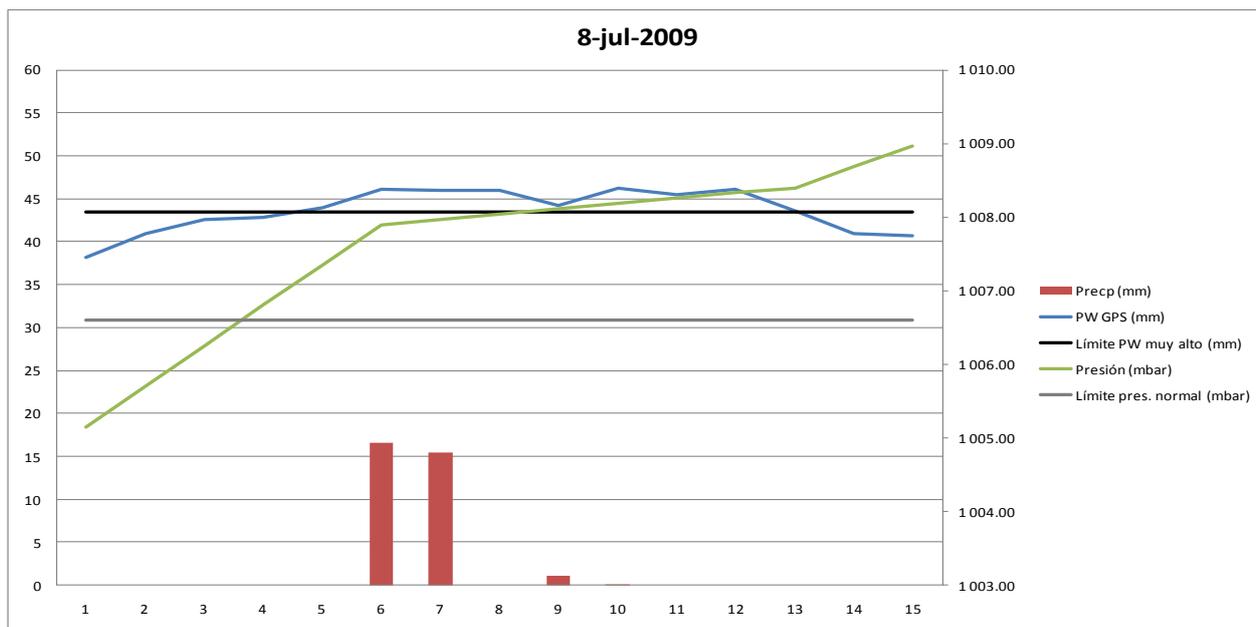


Gráfico 26 Representación de las variables PW-precipitación-presión para Valencia, el día 8-julio-2009

	Duración (h)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Δ PW antes lluvia (mm)	Δ PW tras lluvia(mm)
Gráfico 23	14	6,236	87,3	30,64 - 38,27 = 7,63	38,27 - 35,5 = 2,77
Gráfico 24	2	13,3	26,6	23,25 - 28,53 = 5,28	28,53 - 24,63 = 3,89
Gráfico 25	15	10,89	163,4	23,77 - 35,38 = 11,61	35,38 - 26,92 = 8,46
Gráfico 26	5	6,64	33,2	40,93 - 46,21 = 5,28	46,21 - 40,73 = 5,48

Tabla 12 Valores de duración, intensidad, precipitación acumulada e incremento de PW de los gráficos 23, 24, 25 y 26

Estos 4 eventos se caracterizan por tener valores muy altos-altos de PW, que se localizan en las áreas 1 y 2 del gráfico 13 y valores de presión variables entre normales y bajos, correspondientes a las áreas 3 y 4 del gráfico 14. En ellas la precipitación viene representada en mm.

El primer evento ocurre el día 19 de septiembre de 2001. En él se ve un aumento del PW progresivo antes de la lluvia que permite el comienzo de ésta. Este PW va en aumento conforme avanza la tormenta. La tormenta se detiene debido al brusco aumento de la presión y al descenso posterior del PW tras la caída de la lluvia. Durante toda la tormenta se poseen a valores altos de PW y valores bajos de presión que ascienden al final de la tormenta a valores medios.

El gráfico 24, muestra un evento de cortísima duración pero de alta intensidad, de 13,3 mm/h, la más alta de todas las estudiadas. Esta tormenta se produce debido al incremento repentino del PW (más de 5mm en una hora), que provoca que dichos registros

pasen de tener unos valores normales a ser altos. Tras la tormenta el PW decae y ésta se detiene.

El evento del 11 de octubre de 2007 corresponde a la mayor tormenta estudiada, la que mayor volumen de precipitación dejó, 163,4 l/m² en 15 horas y el evento con mayor intensidad (eliminando aquellos de periodos de menos de 5h). En esta tormenta se ve perfectamente como el PW sube antes de que se produzca la misma bruscamente desde valores normales hasta valores altos que superan en 10 mm el valor normal. Esa recarga brusca del PW, provoca que la lluvia comience. Tras ello el PW sigue ascendiendo y hay una fase de la tormenta que se produce con valores muy altos de PW y medios de presión, momento en el cual se alcanzan las intensidades máximas de esta tormenta. Al final de la tormenta el PW comienza a descender llegando a valores altos y la presión que durante toda la tormenta sigue una trayectoria descendente, iniciándose en valores cercanos a altos, baja a valores normales lo que provoca que el proceso continúe siendo muy virulento. Todos estos factores provocan que se den 15 horas ininterrumpidas de lluvia intensa llegándose a registrar intensidades en horas puntuales de hasta 55,9 mm (máxima intensidad registrada en una hora en todo el periodo estudiado).

En el último evento, el del día 8 de julio de 2009, se vuelve a repetir otra de las tormentas características en esta ciudad. Una tormenta muy corta de 5 horas de duración, pero de intensidad muy alta (6,64 mm/h) y que registra valores en las dos primeras horas de 16,6 mm y 15,4 mm respectivamente. En dicha tormenta la presión continúa una dirección ascendente pero adoptando siempre valores medio-bajos. El PW oscila entre valores altos y muy altos, lo que deja esas intensidades de precipitación elevadas.

De manera que todos estos eventos de lluvia que se producen con **valores muy altos-altos de PW y bajos-medios de presión**. Se caracterizan por tener unas intensidades de precipitación muy elevadas (todas ellas de más de 6 mm/h), y de poseer una duración media o corta. Ello provoca que estos aguaceros dejen una gran cantidad de l/m². El hecho de que se produzcan estas grandes borrascas no va asociado a tan solo un parámetro, sino que va asociado a los dos estudiados y por tanto **ocurren ya que existen en el mismo momento valores altos de PW con valores medios-bajos de presión**. A este conjunto de tormentas las denominaremos de tipo IV.

Tres de estos eventos se producen en otoño y más concretamente 2 en octubre y uno en septiembre, es decir, en los meses de mayor probabilidad de ocurrencia de fenómenos torrenciales y en los meses en los que mayor cantidad de agua precipitada se acumuló durante el periodo de estudio, por lo que parece lógico pensar, que estos 3 eventos fueron originados por una ciclogénesis y que se encuentran enmarcados dentro del fenómeno de la gota fría. El evento del 8 de julio, el cual pertenece a uno de los meses de verano en los que menor cantidad de agua precipitada acumulada hay, puede estar asociado a una tormenta convectiva de verano, tanto por la época de ocurrencia como por su carácter virulento, originando precipitaciones muy intensas en un periodo de tiempo muy breve.

Por tanto, parece lógico pensar, que los eventos en los que se produce una gota fría, la cantidad de PW atmosférico debe de ser muy elevada, ya que dichos frentes se generan en el mar mediterráneo dirección oeste y toman tierra en la costa valenciana, lugar en el cual desencadenan sus procesos tormentosos. Así pues en los casos en los que la presión es elevada, las precipitaciones no serán muy fuertes (como ocurre en las tormentas de tipo II), pero en cuanto se produce un desfase entre la presión y el agua precipitable atmosférica, el proceso que se desencadena puede llegar a dejar gran cantidad de litros de agua por m² y caer con intensidades fuertísimas (como ocurre en el caso de las tormentas III y IV).

Por último cabe destacar que entre los 2 antepenúltimos eventos y los 4 que se acaban de mostrar (que son los eventos de mayor intensidad), 4 de ellos se producen en los meses de otoño, meses asociados a los aguaceros y fuertes tormentas causadas por el fenómeno de la gota fría, algo que como ya se ha mencionado en el apartado 3.4 no es para nada extraño.

Tras este análisis se muestra una tabla resumen que presente los resultados.

	Ejemplos	PW	Presión	Intensidad	Duración	Factor limitante	Factor causante	Tipo de lluvia
Tipo I	02-may-04 26-feb-06 13-dic-09	Bajo	Muy Baja	Baja	Alta	PW (bajo)	Presión (baja)	Frentes atlánticos
Tipo II	05-ene-02 05-may-06 31-ago-06	Alto o Muy alto	Alta o Muy alta	Baja	Variable	Presión (alta)	PW (alto)	-
Tipo III	07-nov-06 21-sep-07	Muy alto	Alta	Alta	Alta	-	PW (muy alto)	Ciclogénesis
Tipo IV	19-sep-01 18-oct-06 11-oct-07 08-jul-09	Alto o Muy alto	Medio o Bajo	Muy alta	Media-baja	-	PW (alto) y presión (baja)	Ciclogénesis

Tabla 13 Resumen de los resultados.

De manera que tras estudiar las causas de los eventos seleccionados, se puede sacar en claro que se necesita de una relación entre el agua precipitable atmosférica y la presión para que pueda haber precipitación.

Es necesario que haya suficiente PW para que pueda llover, ya que con valores más bajos de 5 mm por lo general no se producen lluvias y con valores bajos o muy bajos (definidos en la tabla 8 de la pág. 75) pueden producirse borrascas de carácter poco intenso. Además para todos los casos estudiados se puede observar como el PW sufre un aumento de su valor en los momentos previos a iniciar la lluvia, por lo que si tenemos valores de PW descendientes, se puede afirmar que no va a llover.

Por otro lado, la presión juega un papel muy influyente sobre la posibilidad de lluvia o no, ya que para que ésta se produzca, deberá haber una relación entre el PW y la presión. Por tanto se puede afirmar que la presión actúa como un factor inhibitor de la precipitación, y es ésta la que permite que haya lluvias (si su valor es bajo en relación con el PW), o no.

Para finalizar se destaca que las precipitaciones más intensas, se producen con diferencias significativas entre los valores de presión y PW, es decir, cuando el PW es mayor en relación con los valores de presión, como ocurre en las precipitaciones de tipo III y IV. Son éstas las que pueden estar asociadas a las precipitaciones provocadas por ciclogénesis, más virulentas y todas ellas tienen en común un alto contenido en PW debido a que se recargan en el mar Mediterráneo, en zonas muy cercanas a las costas en las cuales se descargan. Las precipitaciones más débiles, de tipo I, quedarán enmarcadas dentro de las precipitaciones provocadas por frentes atlánticos, que son precipitaciones que en estas latitudes dejan menos cantidad de agua precipitada y de menor intensidad y que están asociadas a valores bajos de PW ya que dichos frentes se descargan durante su paso por la Península y llegan sin apenas PW a la costa levantina.

7.4 ESTUDIO DE LA PROBABILIDAD DE LLUVIA MEDIANTE LA RELACIÓN PRESIÓN, PRECIPITACIÓN Y PW-GPS

Como ya se ha indicado en el apartado 6.2.3 de materiales y métodos de este trabajo, mediante el programa MATLAB se va a calcular la probabilidad de lluvia para los diferentes meses, dentro del periodo de estudio 2001-2009, para la ciudad de Valencia.

Mediante este análisis lo que se pretende es obtener unos gráficos y una serie de resultados matemáticos que validen la tecnología GPS como herramienta de predicción meteorológica.

Expuesto esto, se pasará a explicar que se han obtenido 12 gráficos, uno para cada mes del año, en los cuales se han introducido en cada uno todos los días del mes correspondiente, de los 8 años objeto de estudio. Las características de los gráficos y su presentación son:

- ✓ Los datos se representan para cada mes (indicado el mes correspondiente en la parte central superior del gráfico) en un gráfico de dos ejes con el PW medido en mm en el eje de las abscisas y una escala fija de 0 a 50 y la presión atmosférica medida en mbar en el eje de las ordenadas y con una escala fija desde los 980 mbar a los 1035 mbar.
- ✓ Dentro del gráfico y en el fondo encontramos de color azul oscuro, toda la nube de puntos correspondiente a los 63.802 datos que poseemos para hacer el análisis. Datos que como bien sabemos son horarios y que corresponden a los 8 años de estudio. Solo nos valen aquellas horas en los que tenemos un valor de presión y de PW.
- ✓ Sobre ésta se encuentran unos puntos de color azul claro que corresponden a los datos de cada mes correspondiente.
- ✓ La última capa, de color gris, es aquella en la que se produce precipitación para un determinado valor de PW y presión. En función del grosor del punto medimos la intensidad de la precipitación.
- ✓ Por último en los gráficos quedará representado un círculo que abarca el 50% de la lluvia precipitada para cada mes que será de color blanco.

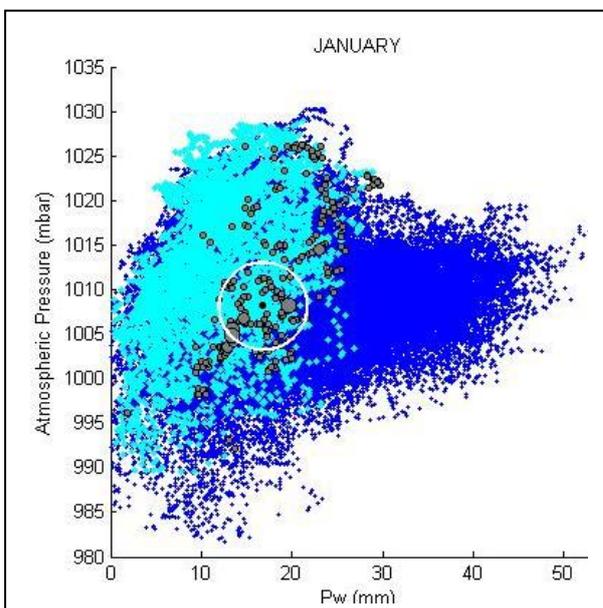


Gráfico 27 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de enero

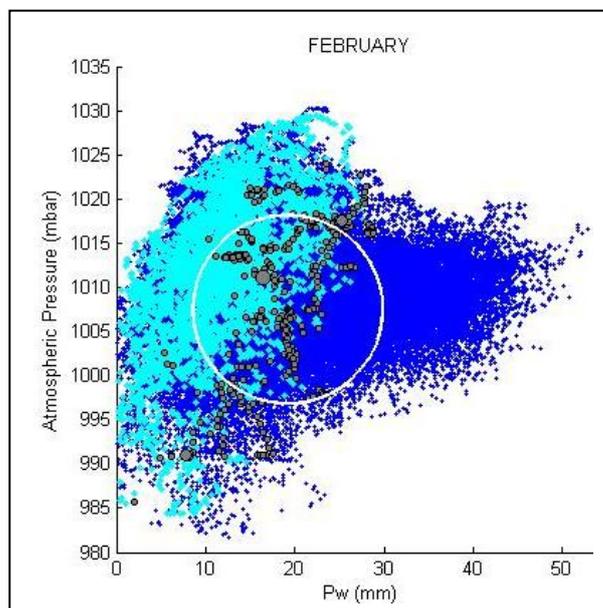


Gráfico 28 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de febrero

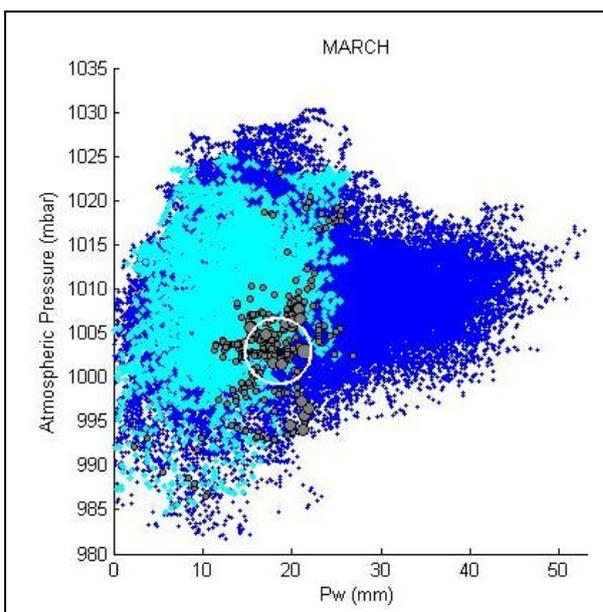


Gráfico 29 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de marzo

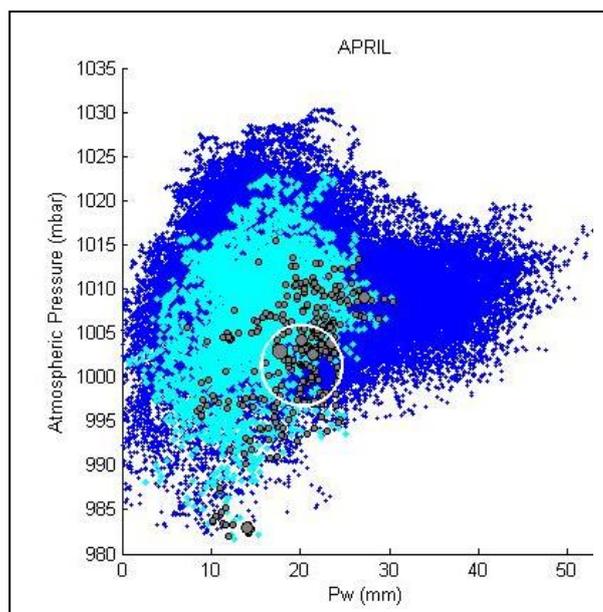


Gráfico 30 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de abril

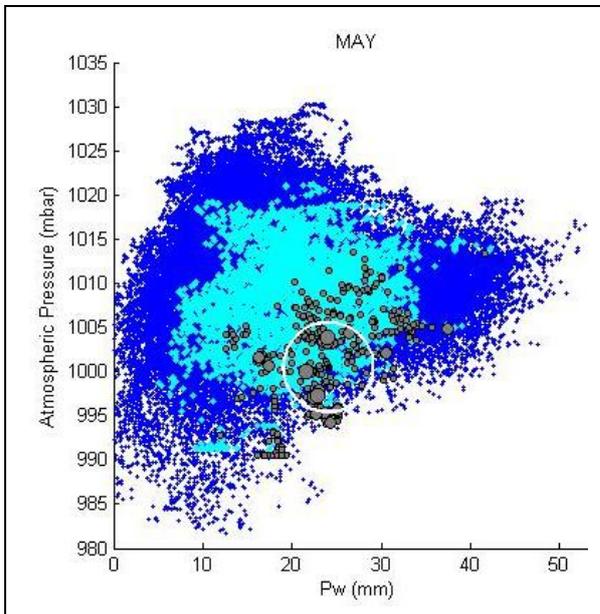


Gráfico 31 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de mayo

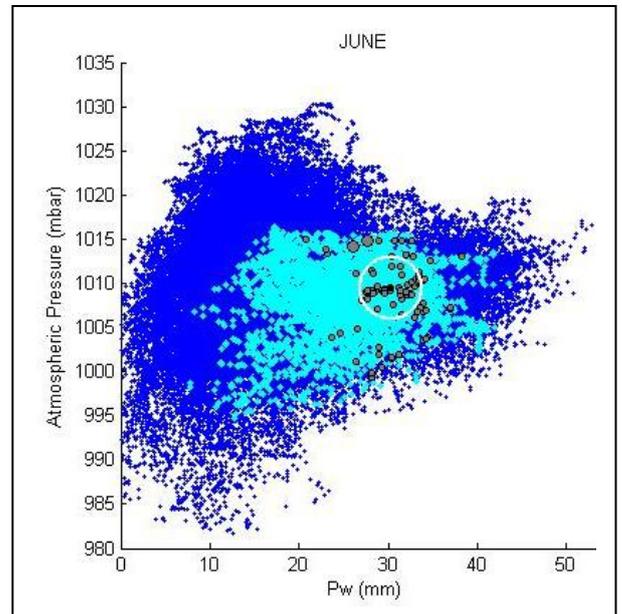


Gráfico 32 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de junio

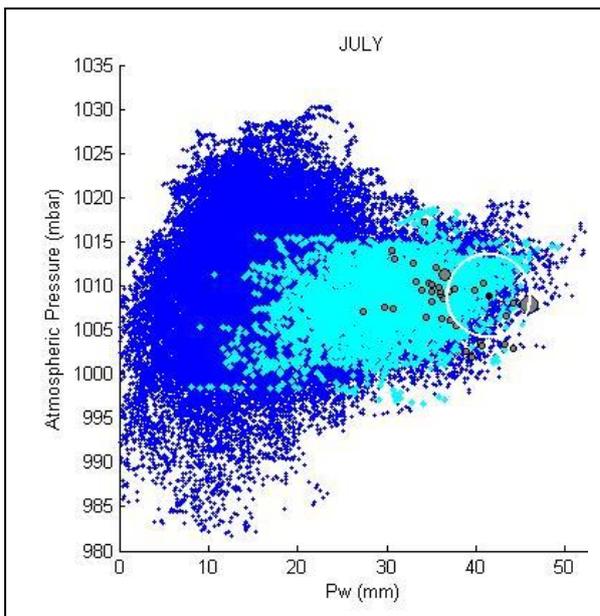


Gráfico 33 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de julio

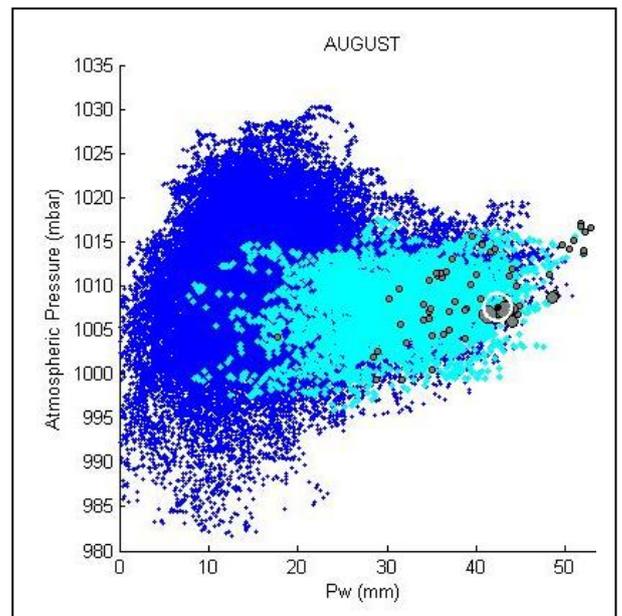


Gráfico 34 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de agosto

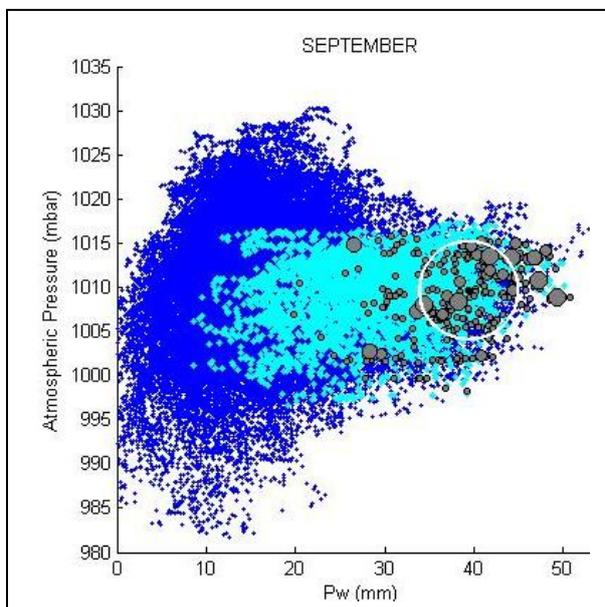


Gráfico 35 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de septiembre

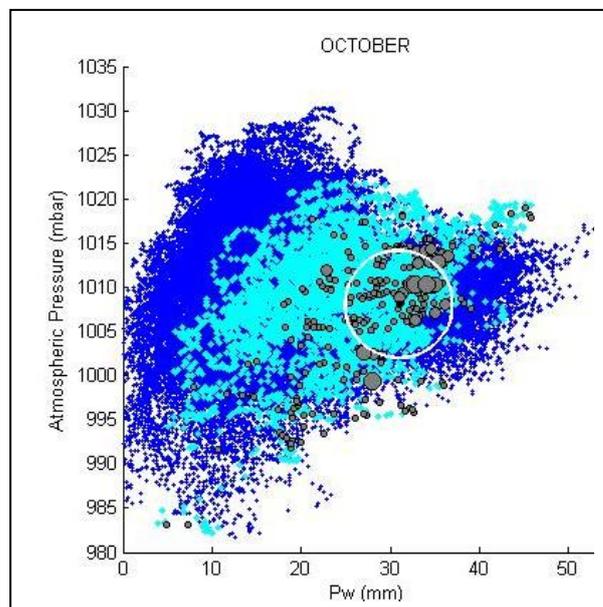


Gráfico 36 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de octubre

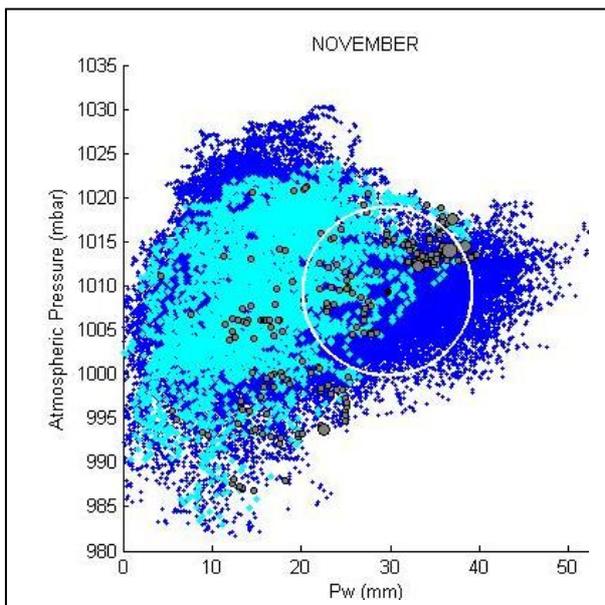


Gráfico 37 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de noviembre

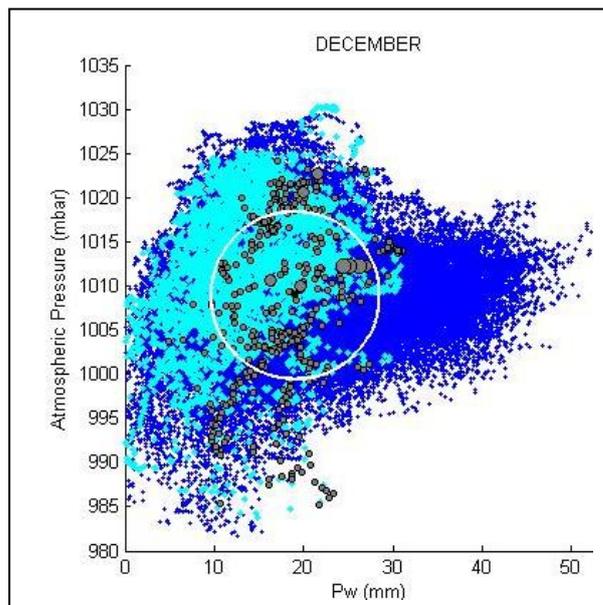


Gráfico 38 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de diciembre

Una vez vistos todos los gráficos se exponen los resultados numéricos obtenidos de nuestra aplicación:

	% Lluvia encerrada	Radio círculo (mm)	Probabilidad de lluvia (%)	X (PW)	Y (Presión)		% Lluvia encerrada	Radio círculo (mm)	Probabilidad de lluvia (%)	X (PW)	Y (Presión)
January	10	2.526	10.359	16.7973	1008.1589	July	10	4.656	1.1364	41.4447	1008.9315
	30	3.391	11.825				30	4.656	1.1364		
	50	4.915	10.366				50	4.72	1.2638		
	70	6.888	8.6621				70	5.459	1.9116		
	90	12.808	4.9645				90	9.276	1.585		
February	10	3.607	24.571	19.1826	1007.5287	August	10	0.875	6.8966	42.4112	1007.6314
	30	7.506	12.956				30	1.302	8.1081		
	50	10.691	8.6839				50	1.59	10		
	70	12.377	7.9472				70	4.796	2.8335		
	90	16.86	6.5185				90	6.939	2.1654		
March	10	1.466	45.57	18.4354	1002.979	September	10	2.546	7.4499	39.4412	1009.6875
	30	2.669	38.14				30	4.516	9.6545		
	50	3.747	30.127				50	5.576	10.327		
	70	4.884	25.32				70	7.63	9.2619		
	90	8.574	12.457				90	11.429	8.4282		
April	10	2.046	37.143	20.1229	1001.3629	October	10	2.744	6.8966	30.9604	1008.1169
	30	3.522	24.111				30	3.833	6.6667		
	50	4.597	21.229				50	6.096	6.3707		
	70	8.263	9.6487				70	6.851	7.5749		
	90	11.826	7.1963				90	10.443	6.4369		
May	10	2.847	16.749	24.0698	1000.5388	November	10	5.269	11.159	29.6734	1009.4219
	30	3.785	15.803				30	7.669	16.929		
	50	5.094	15.104				50	9.566	13.464		
	70	6.733	12.932				70	12.524	8.4146		
	90	11.016	9.3875				90	15.808	5.9199		
June	10	1.181	6.1069	30.2468	1009.5287	December	10	4.233	7.9108	19.0293	1008.9617
	30	2.388	5.045				30	7.099	8.5526		
	50	3.517	4.2672				50	9.506	8.0618		
	70	5.89	3.0861				70	12.173	7.6859		
	90	7.698	2.8906				90	18.073	6.7506		

Tabla 14 Resultados de probabilidad de lluvia para cada mes obtenidos de matlab

Como se puede observar en la tabla 14, las predicciones de lluvia no son muy buenas, sobre todo para los meses de verano, meses en los cuales se alcanza unas probabilidades de lluvia del 10% como mucho y en los que los valores se encuentra entre el 1,1364%, que es el mínimo, alcanzado en el mes de julio y el 10,327%, que es el máximo, alcanzado en septiembre. Curiosamente septiembre es el segundo mes con mayor precipitación acumulada durante el periodo de estudio, y las predicciones que se obtienen para dicho mes son bastante bajas.

Sin embargo se observa cómo el modelo mejora notablemente para los meses de marzo, abril y mayo (sin ser estos como cabría pensar los meses con mayores precipitaciones), alcanzando en el caso del primer mes una probabilidad de lluvia para el área que encierra el 50% de la lluvia total de más del 30%. Estos no son los meses en los que las precipitaciones son mayores (ver tabla 7) pero sí son los meses en los que las precipitaciones se encuentran más concentradas, como se puede observar en los gráficos 29, 30 y 31 y numéricamente en la tabla 14, ya que esquivando a los meses de verano (los cuales lógicamente tienen valores del radio del círculo pequeño ya que las precipitaciones caídas en esos meses son bajísimas), en ellos se

encuentran los radios de las circunferencias más pequeños. Es para estos tres meses, marzo, abril y mayo (y sobre todo para los dos primeros) para los que se obtienen los mejores resultados, consiguiendo una probabilidad de lluvia en el área que abarca el 30% de la lluvia total caída del 38,14% y del 24,11% respectivamente (sin contar el mes de mayo).

De estos gráficos se obtiene la conclusión de que existe una cierta relación entre el PW-GPS, presión y lluvia. A continuación se expone el mes de octubre como ejemplo, que no es uno de los meses de los que mejor resultados matemáticos se han obtenido y es el mes con mayor cantidad de lluvia acumulada por m^2 . En él se representa con una recta verde horizontal el límite entre lo que son para dicho mes las altas y las bajas presiones (los 1008,189 mbar) y con otra recta de color verde y vertical lo que son valores altos de PW de los bajos (situada en los 24,6mm, ambos valores obtenidos a partir de la tabla 7). Lógicamente cuanto más arriba y más hacia la derecha se sitúen sobre las rectas vertical y horizontal respectivamente los puntos a estudio, con mayores valores de presión y de PW se encuentran.

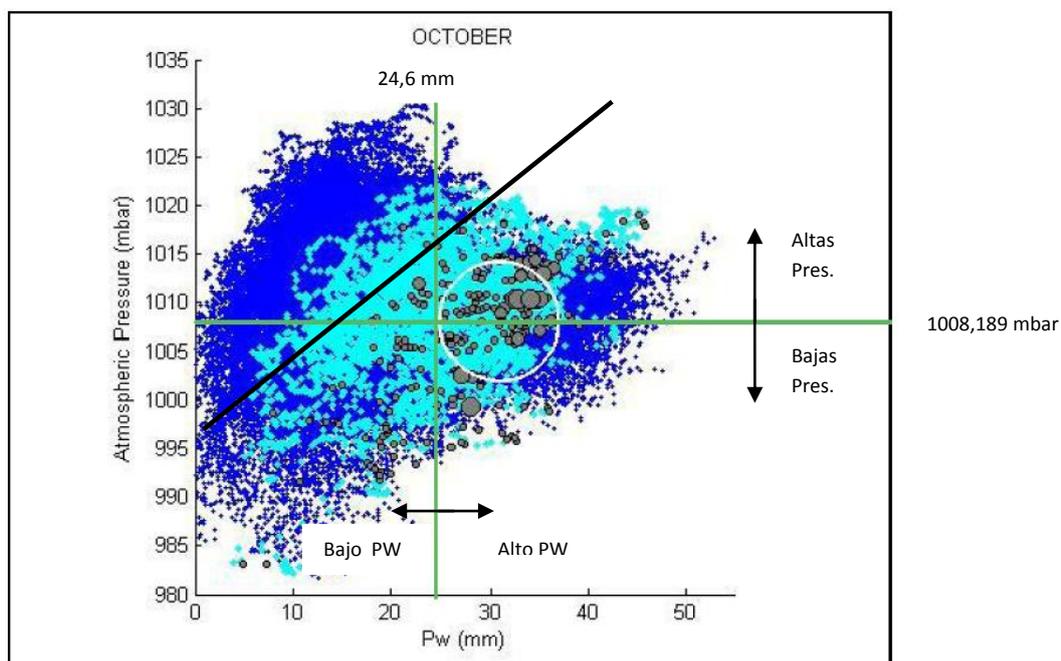


Gráfico 39 Representación de la probabilidad de lluvia para el mes de octubre, observando la tendencia de la precipitación

Aquí se observa cómo prácticamente la totalidad de las lluvias y sobre todo las lluvias más intensas se producen por debajo del límite establecido (línea negra inclinada). Este hecho reafirma los estudios realizados en el anterior análisis (punto 7.3) e indican que el PW y la presión deben llevar una tendencia similar y que incluso con valores bajos de PW pueden

producirse lluvias si los valores de presión son proporcionalmente más bajos. En este caso las precipitaciones que se producen no son significativas y son precipitaciones bastante débiles. Por el contrario se deduce que si te enfrentas a valores ligeramente altos de presión o normales (en este caso mayores de 1008,189 mbares) en los que aparentemente no debería llover ya que se presenta una zona de estabilidad atmosférica, si el valor de PW es alto para la época en cuestión y en proporción con el valor de presión (en este caso PW mayores de 24,6 mm) se producen precipitaciones. Estas precipitaciones que se producen con valores altos de PW y con valores normales, bajos o muy bajos de presión, son las que mayores intensidades de precipitación dejan.

Pese a todo, estos resultados pueden parecer poco esperanzadores. Por ello se ha estudiado las posibles causas del porqué se han obtenido unos resultados no tan buenos y se ha pensado que quizás el modelo matemático utilizado haya sido demasiado sencillo y el hecho de que las lluvias no se asocien directamente a unos rangos concretos de presión y PW no ayuda. Como se ha explicado anteriormente, las lluvias se producen cuando el PW y la presión siguen trayectorias similares es decir, cuando ambos valores son bajos, normales o altos o cuando el valor del PW es alto y el de presión todo lo contrario. Ello provoca como vemos en el gráfico 39, que se puedan definir un límite que acote las precipitaciones y haga que éstas se concentren en un lugar más concreto.

Además el hecho de que en el área seleccionada el volumen de datos para las variables de PW-presión sea tan alto en comparación con el volumen de datos de lluvia no ayuda. Ello provoca que en los meses de menor precipitación como son los de junio, julio y agosto (ver tabla 7), se obtengan las menores probabilidades de lluvia debido al hecho comentado.

Para finalizar, se debe destacar que se está colaborando en la realización de estas investigaciones con la empresa Instituto Ibermática de Innovación (I3B), de inteligencia artificial, los cuales mediante modelos matemáticos, estadísticos y de programación mucho más complejos como son las redes neuronales, han conseguido predecir la lluvia mediante la recombinación de estas variables con una exactitud de más del 70% y con unos 48 horas de antelación, algo que sí que es esperanzador y que anima a continuar con las investigaciones realizadas.

8. CONCLUSIONES Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

8.1 CONCLUSIONES

- ✓ Queda validada la tecnología GPS para la estimación de la cantidad de agua precipitable atmosférica tras ser comparada con los RS. Esto es así ya que los RS son el aparato actual de medida de dicha variable atmosférica y se han obtenido correlaciones entre ambas tecnologías de 0,81 para la estación de ZARA, de 0,84 para la estación de MALL y de 0,88 para la estación de MURC. Además de que el sesgo es en cualquiera de los casos menor de 2,8 mm.
- ✓ Las dos variables meteorológicas estudiadas (PW y presión) tienen una influencia notable en la precipitación y ambas deben guardar una relación para que se puedan producir lluvias:
 - Valores bajos de PW y muy bajos de presión, producen precipitaciones de larga duración y poco intensas, ya que hay poco agua precipitable en la atmósfera. Tormentas de tipo I. Asociadas a frentes atlánticos
 - Tanto valores de PW y presiones altas o muy altas, provocan precipitaciones de variable duración y baja intensidad, provocadas por el alto valor de presión pese a que haya suficiente agua precipitable en la atmósfera. Tormentas de tipo II. Originada de diferentes maneras.
 - Valores muy altos de PW y altos de presión, generan precipitaciones de alta duración e intensidad. Esto es provocado por el alto contenido en agua precipitable existente y por ese desfase entre los valores de presión y PW. Tormentas de tipo III. Asociadas a ciclogénesis.
 - Valores altos o muy altos de PW con valores bajos o medios de presión, provocan debido a ese desfase entre ambos y al alto valor del PW, tormentas de duración variable entre media y baja y de intensidad muy alta. En este grupo de tormentas que serán las de tipo IV, se encuentra la mayor de todas las estudiadas (11-octubre-2007). Originadas de nuevo por ciclogénesis.
- ✓ Por tanto para que exista lluvia, debe existir un desfase entre los valores de PW y presión. Las lluvias más intensas se producen cuando esas diferencias entre ellos son mayores (generalmente provocadas por ciclogénesis).
- ✓ Con PW menores de 5 mm no hay lluvias, al igual que con PW descendientes al comienzo de éstas ya que siempre, antes de comenzar una lluvia, se produce un incremento en el valor del PW.

- ✓ La presión actúa como un factor inhibitorio, permitiendo que se produzca o no la lluvia, por lo que la intensidad y la duración del evento, dependerán de la cantidad de PW existente. Por ello siempre valores bajos o muy bajos de PW, si dejan precipitaciones, serán de baja intensidad.
- ✓ El modelo de predicción meteorológica se ajusta bastante bien a los meses de primavera y peor a los de verano, siendo los meses de marzo y abril para los que mejores resultados se han obtenido.
- ✓ Las precipitaciones intensas, se producen con valores altos de PW para el mes en cuestión y valores bajos, medios o ligeramente altos de presión. Lo cual afianza los resultados obtenidos en el apartado 7.3.
- ✓ Los malos resultados obtenidos, pueden ser debidos al modelo matemático utilizado, o a que en el área seleccionada el volumen de datos para las variables de PW-presión sea tan alto en comparación con el volumen de datos de lluvia. Éstos mejoran notablemente con modelos matemáticos más complejos y exactos como las redes neuronales utilizadas por Ibermática, la empresa con la que se está colaborando.

8.2 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Para finalizar este trabajo final de carrera, se detallarán posibles estudios futuros o nuevas líneas de investigación.

Se han analizado y estudiado diferentes patrones de precipitación provocadas por las variables PW-presión en dos zonas climáticas de la península Ibérica diferentes como lo son Pamplona (clima de transición entre el mediterráneo y el atlántico) y Valencia (clima puramente Mediterráneo), por lo que ahora interesaría llevar este estudio a una zona de clima atlántico, como Galicia para poder comparar o estudiar posibles relaciones entre estas 3 zonas climáticas diferentes.

La mayoría de modelos meteorológicos se realizan con el estudio de varias variables meteorológicas. En este caso, solo se ha realizado con dos, por lo que conociendo que el PW depende de la T^a y es distribuido en el espacio por el viento, si introducimos dichas variables en el estudio, cabría esperar que los resultados obtenidos mejorasen. Para ello primero se debe estudiar si existe una relación entre ambos parámetros (PW y T^a , PW y viento) e identificar posibles patrones como los definidos en este trabajo con la presión.

Además estos estudios poseen una relación estrecha con las energías renovables ya que conociendo como la lluvia varía el caudal de los ríos y provoca crecidas en ellos, si se consigue predecirla mediante esta tecnología (que es más barata y sencilla que otras) se podrá optimizar el recurso hidroeléctrico. Además el PW atmosférico, no es otra cosa que nubes, vapor de agua, por lo que cuanto mayor PW atmosférico se tenga, menor radiación directa atravesará la atmósfera y por tanto el recurso de la energía fotovoltaica se verá limitado. También a través de GAMIT se puede obtener la distribución de ese PW en el espacio (gradientes), el cual ha sido trasladado por el viento, lo que provoca que de esta manera se puedan realizar estudios relacionados con la energía eólica.

9. BIBLIOGRAFÍA

9.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PÁGINAS WEB

Libros y artículos consultados:

- ✓ Alber, C., Ware, R., Rocken, C., Braun, J. Obtaining single path phase delays from GPS double differences. 2000
- ✓ Armengot Serrano, R. Las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana. Series Estadísticas. 2002.
- ✓ Askne, J., Nordius, H. Estimation of tropospheric delay for microwaves from surface weather data. Radio Sci. 22, 379–386. 1987.
- ✓ Behrend, D. et al. MM5 derived ZWDs compared to observational results from VLBI, GPS, and WVR, Phys Chem Earth. 2002.
- ✓ Bender, M., Dick, G., Ge, M. Development of a GNSS water vapour tomography system using algebraic reconstruction techniques. 2010.
- ✓ Bevis, M., Businger, S., Chiswell, S., Herring, T. A., Anthes, R. A. and co-authors. GPS meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water. J. Appl. Meteorol. 33, 379–386. 1994.
- ✓ Bevis, M., Businger, S., Herring, T., Rocken, C., Anthes, R. and co-authors. GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System. J. Geophys. Res. 97(D14), 15 787–15 801. 1992.
- ✓ Black, H.D: "An Easily Implemented Algorithm for Tropospheric Range Correction." Journal of Geophysical Research, 38(B4), pp. 1825-1828. 1978.
- ✓ Bock, O., Bouin, M. N. GPS for atmospheric research: a new look on the correlation between Zenith Tropospheric Delay (ZTD) estimates and station heights.2003.
- ✓ Bock, O., Bouin, M.N., Walpersdorf, A., Lafore, J.P., Janicot, S., Guichard, F., Agusti-Panared, A. Comparison of ground-based GPS precipitable water vapour to independent observations and NWP model reanalyses over Africa. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2007.
- ✓ Boehm, J., Niell, A. E., Schuh, H., Tesmer, V. and Tregoning, P. Mapping functions for atmospheric delay modelling in GNSS analysis. 2006.
- ✓ Borbas. E. Derivation of precipitable water from GPS data, an application to meteorology. Physics and Chemistry of the Earth 23(1): 87–90. 1998.

- ✓ Brenot, H., Ducrocq, V. GPS zenith delay sensitivity evaluated from high-resolution numerical weather prediction simulations of the 8-9 September 2002 flash flood over southeastern France. 2006.
- ✓ Champollion, C., Masson, F., Van Baelen, J., Walpersdorf, A., and Che´ry, J. GPS monitoring of the tropospheric water vapour distribution and variation during the 9 September, 2002 torrential precipitation episode in the Ce´vennes (southern France), *J. Geophys. Res.* 109. 2004.
- ✓ Dick, G., Gendt, G. and Reigber, C. First experience with near real-time wáter vapor estimation in a German GPS network. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 63 1295-1304. 2001.
- ✓ Elgered, G. An overview of COST Action 716: Exploitation of ground-based GPS for climate and numerical weather prediction applications, *Physics and Chemistry of the Earth*, 26(6– 8), 399– 404. 2001.
- ✓ Elgered, G., Davis, J.L., Herring, T.A., Shapiro, I.I. Geodesy by radio interferometry: water vapor radiometry for estimation of the wet delay. *J. Geophys. Res.* 96, 6541–6555. 1991.
- ✓ Emardson, T.R., Johansson, J.M. and Elgered, G. The systematic behavior of water vapor estimates using four years of GPS observations. *Trans. IEEE Geoscience and Remote Sensing*, GE-38, pp. 324–329. 2000.
- ✓ Essen, L., and Froome, K. 13th International Geodesy Association General Assembly, in *Bull. Geod.*, 70, 390 pp. 1963.
- ✓ Estrela, M.J., Miró, J.J., Pastor, F., Millán, M. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Precipitación por frentes atlánticos en la Comunidad Valenciana: cambios y tendencias en las últimas décadas. 2002.
- ✓ Ge, M., Calais, E. and Haase, J. Automatic Orbit Quality Control for Near Real-Time GPS Zenith Tropospheric Delay Estimation. 2000.
- ✓ Goad C. and Goodman L. A modified Hopfield tropospheric refraction correction model. In Paper presented at the American Geophysical Union Annual Fall Meeting at San Francisco, Clifornia, December 12-17. 1974.
- ✓ Gustafsson, N. Assimilation of ground-based GPS data in HIRLAM 3D-Var. In: *Proceedings of the HIRLAM Workshop on Variational Data Assimilation and Remote Sensing*, Finnish Meteorological Institute, Helsinki 21–23 Jan 2002, 89–96. 2002.

- ✓ Haase, J., Vedel, H., Ge, M. and Calais, E. Accuracy and variability of GPS Tropospheric Delay Measurements of Water Vapor in the Western Mediterranean, *J. Appl. Meteorol.* 2003.
- ✓ Hasegawa, S., and Stokesberry, D. Automatic digital microwave hygrometer, *Rev. Sci. Instrum.*, 46, 867–873. 1975.
- ✓ Hofmann–Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. GPS: Theory and Practice. Fifth Edition Springer-Verlag, New York, NY. 2001.
- ✓ Hopfield, J.J. Resonant Scattering of Polaritons as Composite Particles. *Phys. Rev.* 182, 945–952. 1969.
- ✓ Jin S.G., Park J. and Park P.H. GPS ionospheric tomography: a comparison with the IRI-2001 model over South Korea. *Earth Planets Space* 59(4): 287–292. 2007
- ✓ Instituto Nacional de Meteorología (Noticias). Las lluvias torrenciales del 11 y 12 de octubre de 2007 en la Comunidad Valenciana.
- ✓ Kuo, Y.-H., Zou, X. and Guo, Y.-R. Variational assimilation of precipitable water using a nonhydrostatic mesoscale adjoint model. Part I: Moisture retrieval and sensitivity experiments. *Mon. Weather Rev.* 124, 122–147. 1996.
- ✓ Llasat, M. Gota fría. Ed. Boixareu Universitaria. Barcelona. 1991
- ✓ Pacione R., Vespe, F.: La rete permanente GPS in Italia per studi climatologici e meteorologici, VI Conferenza Nazionale ASITA 2002, Perugia (Italy). 2002.
- ✓ Pacione, R., Pace, B., Vedel, H., de Haan, S., Lanotte, R. and Vespe, F. Combination methods of tropospheric time series. 2010.
- ✓ Pacione, R., Sciarretta, C., Vespe, F.: Il segnale GPS e la rifrazione atmosferica:prodotti ed applicazioni al Centro di Geodesia Spaziale (CGS) di Matera. 190 Convegno Nazionale (Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida), Roma. 2000.
- ✓ Programa de Meteorología-Climatología, fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). Informe sobre las lluvias torrenciales del 11 y 12 de octubre de 2007 en la Comunidad Valenciana. 26 de octubre de 2007.
- ✓ Rocken et al. C. Rocken, T.V. Hove, J. Johnson, F. Solheim, R. Ware, M. Bevis, S. Businger and S. Chiswell , GPS/STORM - GPS sensing of atmospheric water

- vapor for meteorology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 12, pp. 468–478. 1995.
- ✓ Saastamoinen, J. Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellites, in: Henriksen et al. (eds.). *The Use of Artificial Satellites for Geodesy*. 1972.
 - ✓ Sanchez Arriola, J., Navascués, B., García-Moya, J. A. Asimilación de datos por los modelos de predicción numérica. Instituto Nacional de Meteorología. 2004.
 - ✓ Smith, Jr., E. K. and Weintraub, S. The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies. *Proceedings of the I.R.E* (41), 1035-1037. 1953.
 - ✓ Thayer, D. An improved equation for the radio refractive index of air, *Radio Sci.*, 9, 803 – 807. 1974.
 - ✓ Tregoning, P., Boers, R., O'Brien, D. and Hendy, M. Accuracy of precipitable water vapour estimation from GPS observations. *J. Geophys. Res*, 103, 28,901-28,910. 1998.
 - ✓ Van der Marel, H. COST-716 demonstration project for the near real-time estimation of integrated water vapour from GPS Original Research Article *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 29, Issues 2-3*, 187-199. 2004.
 - ✓ Vedel, H., Huang, X.Y., Haase, J., Ge, M. and Calais, E. Impact of GPS Zenith Tropospheric Delay data on precipitation forecasts in Mediterranean France and Spain, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L02102, doi: 10.1029/2003GL017715. 2004.
 - ✓ Walpersdorf A., Bouin, M. N., Bock, O. and Doerflinger, E. Assessment of GPS data for meteorological applications over Africa : study of error sources and analysis of positioning accuracy, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 69, page 1312-1330. 2007.
 - ✓ Yan, X., Ducrocq, V., Poli, P., Jaubert, G. and Walpersdorf, A. Mesoscale GPS Zenith Delay assimilation during a Mediterranean heavy precipitation event. *Adv. Geosci.*, 17, 71-77. 2008.
 - ✓ Yan-fang, Y., Ding-hua, Z., Xin-bo, Z., Zhi-qiang, C. and Dong-ping, Z. CT Image Segmentation Based on Mixture Gauss Markov Random Field Models[J]; *Application Research of Computers*. 2007.

Páginas webs visitadas:

- ✓ <ftp://ftpdatos.aemet.es> (F.T.P. AEMET)
- ✓ <ftp://www.icv.gva.es> (F.T.P. Comunidad Valenciana)
- ✓ <ftp://ftp.geodesia.ign.es/ERGPS> (F.T.P. IGN)
- ✓ <http://portales.gva.es/ceam/> (web del CEAM)
- ✓ <http://www.02.ign.es/ign/main/index.do> (web IGN)
- ✓ www.aemet.es (web de AEMET)

Manuales de consulta de los programas utilizados:

- ✓ Gamit, Reference Manual. T. A. Herring, R. W. King, S. C. McClusky.
- ✓ Manual MATLAB. Domínguez Báguena V. y Rapún Banzo M^a L. Matlab en cinco lecciones de numérico. 2007.

ANEXO I: GAMIT 10.40

GAMIT 10.40

Gamit va a ser el programa seleccionado para llevar a cabo el procesado de los datos de las estaciones GPS. En él mediante un procesado se obtienen valores de Z.T.D. (Zenith Total Delay) y a partir de estos y gracias a la orden metutil se llega al PW (Precipitable Water).

Gamit se resume como una colección de programas para el procesado de datos obtenidos de estaciones GPS, estimación de las posiciones tridimensionales relativas de estaciones terrestres y de las órbitas de los satélites además de los retrasos cenitales atmosféricos y los parámetros de orientación de la tierra. Es un software diseñado para funcionar bajo cualquier sistema operativo UNIX.

Para un correcto funcionamiento del programa se deben definir una serie de parámetros y preparar, según los datos que se quieran obtener, una serie de archivos. Para poder procesar dentro de la carpeta del experimento, la cual deberá tener un nombre de 4 letras y estar además éstas escritas en letras minúsculas, se deberán encontrar dos carpetas más, una de ellas con el nombre de rinex y otra con el nombre de tables.

En la carpeta rinex se introducirán como su propio nombre lo indica todos los archivos RINEX descomprimidos y preparados para ser procesados, mientras que la carpeta tables deberá llevar 5 archivos imprescindibles para poder llevar a cabo el procesado de los datos. Estos 5 archivos son los siguientes, y cada uno de ellos se especificará más adelante:

- Process.defaults
- Sites.defaults
- Lfile.
- Sestbl.
- Station.info

1. process.defaults

El primero de los 5 archivos, se encarga de editar las especificaciones del entorno de cálculo, las fuentes para los datos externos e internos y los archivos orbitales, el intervalo de muestreo y las instrucciones para archivar los resultados. Los comentarios están encuadrados junto a la orden explicada.

```
# process.defaults

#

# Do not remove any of these entries. To by-pass a function, set
the value to null: ""

## LOCAL DIRECTORIES

# Directory for translation of raw data

set rawpth = "$procdir/raw"

# Directory path for raw archives (search all levels); e.g.
/data18/simon

set rawfnd = ""

# Input files for RINEX translators

set mpth = "$procdir/mkrinex"

# RINEX files directory

set rpth = "$procdir/rinex"

# Directory path for RINEX archives (search all levels); e.g.
/data18/simon

set rnxfnd = "$procdir/rinex"

# Broadcast orbit directory

set bpth = "$procdir/brdc"

# IGS files directory

set ipth = "$procdir/igs"

# G-files directory

set gpth = "$procdir/gfiles"

# GAMIT and GLOBK tables directory
```

```
set tpth = "$procdir/tables"

# Output gifs directory

set gifpth = "$procdir/gifs"

# Globk solution directory

set glbpth = "$procdir/gsoln"

# Globk binary h-file directory

set glfpth = "$procdir/glbh"

# Directory path for other h-files (search all levels); e.g.
/raid1/tah/SIO_GLL

set hfnd = ""

# Template files

set templatepth = "$procdir/templates"

# Place to store temporary control files

set cpth = "$procdir/control"

# Archive root directory (cannot be null)

set archivepth = "$procdir/archive"

## FTP INFO FOR REMOTE FILES
# Raw data archive
# set rawarchive = 'chandler.mit.edu'
# set rawdir = 'pub/continuous/mitnet'
# set rawlogin = "anonymous simon@chandler.mit.edu"

# Addresses for CDDSI, SOPAC, IGSCB, UNAVCO, BKG, IGN, USNO are
given in template/ftp_info

##GAMIT

# Set sampling interval, number of epochs, and start time for
processing

set sint = '30'
set nepc = '1440'
```

Así obtiene los ficheros de estaciones del IGS sin tener que descargarlos y guardarlos en la carpeta rinex.

Intervalo en la toma de datos de los ficheros rinex, número de épocas y comienzo de la sesión de procesado.

```
set stime = '00'

# Variables for updating tables

set stinf_unique = "-u"

set stinf_nosort = "-nosort"

set stinf_slthgt = "2.00"

# Set "Y" to use RINEX header coordinates not in lfile or apr file

set use_rxc      = "N"

# Broadcast orbits

set brdc = 'brdc'

# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most OS use
1 Kb blocks)

set minxf = '100'

# Set search window for RINEX files which might contain data for
day - default check the previous day

set rx_doy_plus = 0

set rx_doy_minus = 1

# Default globk .apr file

set aprf = itrfo0.apr

# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts) options.
(Don't forget to set the archivepth.)

# Possible d-, c-, and a- opts: D, H, ao, ac, as, b, c, d, e, g, h,
i, j, k, l, m, o, p, q, t, x, ps, all"

set dopts = ( c )

set copts = ( x k ao )

set aopts = ''

# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would like
to look for data in.

# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).

set rinex_ftpsites = (sopac cddis unavco)
```

En este caso no se procesa con las coordenadas obtenidas del cabecero de los rinex, se fijan las indicadas en el lfile.

RESOURCES

Minimum raw disk space in Kbytes

set minraw = '30000'

Minimum rinex disk space in Kbytes

set minrinex = '30000'

Minimum archive disk space in Kbytes

set minarchive = '20000'

Minimum working disk space in Kbytes

set minwork = '200000'

SYSTEM-DEPENDENT SETTINGS

UNIX df command must be set to return the correct form

Most machines

set udf = 'df -k'

HP

set udf = 'bdf'

UNIX mail command

Most machines

set umail = 'mail -s'

HP

set umail = 'mailx -s'

Mail address for sending the processing report (if '' will
default to `whoami` in sh_gamit)

set mailto = ''

Host name for email and anonymous ftp password use (if '' will
default to `hostname` in sh_gamit)

set machine = ''

Ghostscript path

set gspath = '/usr/bin'

ImageMagick path fir gif conversion

```
# set impath = '/usr/bin/X11'
```

```
set impath = '/usr/bin'
```

2. lfile.

Este archivo contiene las coordenadas de todas las estaciones que van a participar en el procesado. Es muy importante que estas coordenadas sean correctas, para ello se pueden revisar en el fichero log de cada estación y sustituir si no coinciden con las del lfile., ya que unas malas coordenadas de origen supone un procesado erróneo. Para mostrar su aspecto se han cogido tan solo las coordenadas de estaciones que tomaban parte en el procesado de este experimento del año 2009.

```
# ITRF 2000 positions at Epoch 1997.0 and velocities, GPS stations
```

```
# Apr file created with editor by rwk from ITRF2000_GPS.apr  
01/05/27
```

```
# Old trackers added from ITRF96 and other solutions by rwk  
01/08/07 (velocities copied from collocated itr2000 stations)
```

```
#  
AGDE_GPS 4640976.22278 281124.80880 4351569.85871 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010  
  
AGRD_GPS 4756259.24757 -160320.84427 4233796.83049 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0260 Updated from lxab29.010  
  
AIGL_GPS 4578300.11960 286538.93885 4418911.98731 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.1037 Updated from lxabi9.038  
  
AJAL_GPS 4801696.33746 -190640.42725 4181085.87944 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010  
  
ALCO_GPS 4984687.15222 -41198.76220 3966606.24782 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010  
  
ALSA_GPS 4677250.93144 -176770.54798 4319079.75621 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010  
  
AMB2_GPS 4465758.64478 292711.85548 4530070.44771 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010  
  
ANGL_GPS 4404491.47813 -108110.76431 4596491.33644 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010  
  
ASTO_GPS 4687266.62333 -497176.60554 4283843.81003 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010  
  
AUCH_GPS 4622373.12412 46849.18139 4380155.88442 0.00000  
0.00000 0.00000 2009.0279 Updated from lxabi9.010
```

ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA
G.P.S.

ANEXO I: GAMIT 10.40				Autor: Xabier Archanco Urroz
AVIL_GPS	4830657.24662	-395397.22565	4133873.22634	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
AXPV_GPS	4614666.82224	430786.61123	4367411.60147	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
BARY_GPS	4669389.19366	54762.10248	4330834.11519	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
BIAZ_GPS	4634456.15668	-124345.13664	4365785.34713	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
BORR_GPS	4899519.03944	-7115.41414	4069961.68427	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
BURG_GPS	4712044.25278	-303624.44900	4274801.69511	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
CANT_GPS	4625924.41138	-307096.39194	4365771.44829	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
CAUS_GPS	4579782.39618	129128.42125	4422739.16257	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
CBRY_GPS	4448143.79566	460394.42130	4533028.62327	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
CHIZ_GPS	4427603.19461	-31505.92169	4575621.83233	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
CLFD_GPS	4451154.00331	241928.92439	4547090.83276	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0306	Updated from lxabi9.011	
CNNS_GPS	4595116.26114	565489.67751	4372420.54384	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
COUT_GPS	4514412.05991	-9265.99949	4490631.04150	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
CUBX_GPS	4527704.45240	-44759.30309	4477073.46199	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
DENI_GPS	4974895.61801	9001.16164	3978089.99533	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
EGLT_GPS	4483373.56105	160636.67050	4519409.03685	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
EPSH_GPS	4738379.29652	-37065.63058	4255776.68673	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0279	Updated from lxabi9.010	
ERGM_GPS	4630130.84409	-468392.30618	4347354.50222	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
GLRA_GPS	4516664.95884	357379.03269	4475273.27485	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	

ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA
G.P.S.

ANEXO I: GAMIT 10.40				Autor: Xabier Archanco Urroz
GUIJ_GPS	4830459.51088	-480249.74117	4124995.46200	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
LBRD_GPS	4542413.57842	-41846.79950	4462296.35132	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
LBUG_GPS	4521484.75530	72694.72658	4483242.92343	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
LCAU_GPS	4518555.99466	-84830.10634	4485690.46840	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
LEON_GPS	4680871.13851	-463168.00110	4294606.82739	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
LERM_GPS	4735507.38894	-310944.90992	4248423.90544	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
PRIE_GPS	4630631.77779	435498.48814	4350065.59348	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
PSBR_GPS	4712137.38426	-548290.87743	4250492.22839	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
PUYV_GPS	4504322.05611	305405.34395	4491277.42266	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
PZNA_GPS	4629717.06878	276138.39215	4363803.77223	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
RIAN_GPS	4656841.89088	-407916.36851	4326356.99939	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
RIOJ_GPS	4708688.35422	-205761.32448	4283609.61996	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
RONC_GPS	4686230.16059	-78093.59697	4312557.66907	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
ROYA_GPS	4466458.84106	-79862.87684	4537304.71007	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
RST2_GPS	4579745.57228	439664.33280	4404112.49209	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
SALA_GPS	4803054.56073	-462131.21688	4158378.92278	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
SALD_GPS	4692758.41249	-389353.18262	4288996.24929	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
SCDA_GPS	4527128.15872	258455.39955	4471958.86670	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
SCOA_GPS	4639940.63842	-136225.09962	4359552.30667	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	

ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA
G.P.S.

ANEXO I: GAMIT 10.40				Autor: Xabier Archanco Urroz
SGIL_GPS	4606571.10087	357184.77998	4382269.40834	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
SGVA_GPS	4812625.39371	-346689.85919	4158876.90056	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
SORI_GPS	4761046.78348	-205416.89562	4226698.23352	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
STV2_GPS	4526244.26902	484214.73990	4453763.03124	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
STVD_GPS	4715995.56127	-496864.53339	4252246.42627	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
TAFA_GPS	4706422.29281	-137769.50566	4288744.86103	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
TERU_GPS	4867391.41547	-95523.49432	4108341.53665	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
TRMO_GPS	4568797.13719	217444.05078	4431417.05699	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
TUDE_GPS	4741783.76074	-132734.08847	4249840.79080	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
UNME_GPS	4647640.41828	-26415.40428	4353755.23824	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
UTIE_GPS	4922872.97803	-103857.32738	4041693.99046	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
VALA_GPS	4753521.43972	-391505.23501	4221500.80411	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
VALE_GPS	4929533.78002	-29050.27402	4033710.19001	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
VBLO_GPS	4648840.63059	-515301.16458	4323298.53485	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
VIGO_GPS	4677480.84984	-725204.68194	4260827.44857	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
VILR_GPS	4491480.21430	436582.16332	4493805.99142	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
VOUR_GPS	4449990.57295	372170.56456	4539271.76573	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
VTGD_GPS	4790227.23164	-540127.91479	4163704.95557	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	
ZARA_GPS	4773803.27053	-73506.13138	4215453.95521	0.00000
0.00000	0.00000	2009.0260	Updated from lxab29.010	

3. station.info

Este archivo recoge información de cada estación de gran importancia. La estación se nombra según cuatro caracteres que suelen ser las 4 primeras letras de su nombre, por ejemplo Valencia, VALE, le sigue la localización de la estación con el comienzo y final de la sesión, esto implica una fecha de instalación y otra de retirada, por cada cambio que se haga en la estación de antena o receptor habrá una línea nueva en el station.info reflejando ese cambio con su fecha. En el archivo se pueden ver las versiones de las antenas y receptores como los propios receptores y antenas con sus códigos de identificación, altura de la antena y si esta tiene o no domo. En caso de que esta tenga domo, se pondrá el nombre del mismo, si no lo tiene, en todas aquellas estaciones en las que ponga UNKN (unknow = desconocido) habrá que sustituirlo por NONE (none = ninguno).

Para evitar que el programa cambie estas antenas o receptores por otros, como por ejemplo los que indican en el cabecero del rinex se le indica en el sites.defaults que no actualice coordenadas y en el sestbl que no cambie el lfile. con sus órdenes correspondientes. De esta manera se puede dejar fijada la antena y receptor con la que se debe procesar teniendo la seguridad de que usará los datos correctos. En el ejemplo que se expone a continuación tan solo se muestran algunas de las estaciones con las que se ha realizado el estudio.

```
# Station.info written by MSTINF user gamit on 2009-08-24 10:02

* Merged station.info from 1 Input files:

* Reference file : station.info

*

*

*SITE Station Name      Session Start      Session Stop      Ant
Ht  HtCod  Ant N    Ant E    Receiver Type     Vers
SwVer  Receiver SN          Antenna Type     Dome  Antenna SN

ACOR ACOR          2009 10 0 0 0 2009 50 23 59 30
3.0460 DHARP  0.0000  0.0000 LEICA GRX1200PRO  6.02
6.02 459187          LEIAT504          LEIS  103033
mstinf2: acor0100.09o

AGDE AGDE          2009 10 0 0 0 2009 10 23 59 30
0.0000 DHARP  0.0000  0.0000 TRIMBLE NETRS    1.1-3
0.00 4603204324 TRM41249.00      UNKN  CRN 19995007
mstinf2: agde0100.09o?
```

ANEXO I: GAMIT 10.40 Autor: Xabier Archanco Urroz
 CUBX CUBX 2009 10 0 0 0 2009 50 23 59 30
 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA RS500 1.39
 1.39 39124 LEIAT504 LEIS 1000
 mstinf2: cubx0100.09o

.

DENI DENI 2009 10 0 0 0 2009 50 23 59 30
 0.0800 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 5700 NP 1.23
 0.00 020277697 TRM41249.00 NONE
 mstinf2: deni0100.09o?

.

EBRE EBRE 2009 10 0 0 0 2009 50 23 59 30
 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETRS 1.15
 1.15 4536257134 TRM29659.00 NONE 0220071796
 mstinf2: ebre0100.09o

EGLT EGLT 2009 10 0 0 0 2009 50 23 59 30
 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 4000SST 5.62
 5.62 355904 LEIAT504GG LEIS 704
 mstinf2: egl0100.09o?

4. sites.defaults

Archivo que especifica que estaciones de las que se están usando pertenecen al IGS y cuáles no, qué tipo de archivos rinex se van a procesar y si se quiere tomar datos de cabecera de los rinex o no, entre otras funciones.

En este archivo se puede hacer que no se modifiquen las antenas y receptores en el station.info mediante la orden "xstinfo", en el caso de que se hayan modificado manualmente mirando las correctas y actualizadas en el correspondiente archivo log de la estación.

```
# File to control the use of stations in the processing
#
# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
# where the first token is the 4- or 8-character site name (GAMIT uses
only
# 4 characters, GLOBK allows only 4 unless there are earthquakes or
renames),
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the
processing.
```

```
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will
be used

# automatically and do not need to be listed.

#

# GAMIT:

# ftprx = sites to ftp from rinex data archives.

# ftprx = sites to ftp from raw data archives.

# localrx = sites names used to search for rinex files on your local
system.

#          (required in conjunction with rnxwnd path variable set in
process.defaults).

# xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.

# xsite   = sites to exclude from processing, all days or specified days

# GLOBK:

# glrepu = sites used in the GLRED repeatability solution (default is to
use all)

# glreps = sites used for reference frame definition (stabilization) in

#          GLORG for the GLRED repeatability solution (default is IGS
list)

# glts   = sites to plot as time series from GLRED repeatability
solution (default is all)

#

# may use the following

# all_sites delt

# individual station commands will override all_sites if they follow it

cagl_gps xabi ftprx xstinfo

brus_gps xabi ftprx xstinfo

usno_gps xabi ftprx xstinfo

bell_gps xabi ftprx xstinfo

creu_gps xabi ftprx xstinfo

ebre_gps xabi ftprx xstinfo
```

En este procesado se puede observar como hay 8 estaciones que aportan los ficheros rinex desde ftp directamente y así se le indica al programa con la orden ftp, las estaciones que llevan la orden localrx deben tener sus ficheros rinex en la carpeta rinex del experimento que en este caso se nombra xabi.

```
esco_gps xabi ftprnx xstinfo
lliv_gps xabi ftprnx xstinfo
acor_gps xabi localrx xstinfo
vigo_gps xabi localrx xstinfo
cant_gps xabi localrx xstinfo
agr_d_gps xabi localrx xstinfo
ajal_gps xabi localrx xstinfo
asto_gps xabi localrx xstinfo
avil_gps xabi localrx xstinfo
burg_gps xabi localrx xstinfo
guij_gps xabi localrx xstinfo
leon_gps xabi localrx xstinfo
lerm_gps xabi localrx xstinfo
mdpm_gps xabi localrx xstinfo
myrg_gps xabi localrx xstinfo
pale_gps xabi localrx xstinfo
pena_gps xabi localrx xstinfo
psbr_gps xabi localrx xstinfo
rian_gps xabi localrx xstinfo
sala_gps xabi localrx xstinfo
sald_gps xabi localrx xstinfo
sgva_gps xabi localrx xstinfo
sori_gps xabi localrx xstinfo
stvb_gps xabi localrx xstinfo
vala_gps xabi localrx xstinfo
vblo_gps xabi localrx xstinfo
vtgd_gps xabi localrx xstinfo
zmra_gps xabi localrx xstinfo
```

Con la orden xstinfo se evita que se actualicen las coordenadas en el archivo station.info con las que aportan los ficheros rinex en su cabecero, así el programa toma en todo momento las que se le han asignado desde el fichero log proporcionando unas coordenadas siempre correctas.

```

alsa_gps xabi localrx xstinfo
pamp_gps xabi localrx xstinfo
ronc_gps xabi localrx xstinfo
tafa_gps xabi localrx xstinfo
tude_gps xabi localrx xstinfo
rioj_g
mtdm_gps xabi localrx xstinfo
tlse_gps xabi localrx xstinfo
ajac_gps xabi localrx xstinfo
pzna_gps xabi localrx xstinfo
agds_gps xabi localrx xstinfo
vour_gps xabi localrx xstinfo
nica_gps xabi localrx xstinfo
bous_gps xabi localrx xstinfo

```

El asterisco al final del fichero ayuda a que el programa reconozca la última estación a procesar y no se cometa el error de dejarla fuera del análisis.

* ←

5. sestbl.

Mediante este archivo se pueden seleccionar las opciones más apropiadas para el procesado que se quiera realizar modificando una serie de parámetros a los que se tiene acceso. De nuevo se muestran encuadrados los comentarios sobre cada opción a utilizar. Se debe tener en cuenta que de este fichero solo entran en el procesado las líneas que están ajustadas al borde, las que tienen un espacio desde el margen izquierdo están inutilizadas y tan solo son de información, se observa en los controles opcionales.

Session Table

Processing Agency = MIT

Satellite Constraint = Y ; Y/N (next two lines are free-format but 'all' must be present)

	all	a	e	i	n	w	M	
rad1	rad2	rad3	rad4	rad5	rad6	rad7	rad8	rad9;
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

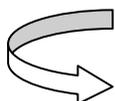
Choice of Experiment = BASELINE ; BASELINE/RELAX./ORBIT
 Type of Analysis = 1-ITER ; 1-ITER/0-ITER (no postfit
 autcln)/PREFIT

ANEXO I: GAMIT 10.40

Autor: Xabier Archanco Urroz

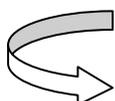
```
This now redundant AUTCLN Postfit = R ; Run
autcln for postfit run; R causes repeat run.
Choice of Observable = LC_AUTCLN ;
L1_SINGLE/L1&L2/L1_ONLY/L2_ONLY/LC_ONLY/
;
L1,L2_INDEPEND./LC_HELP/LC_AUTCLN
Station Error = ELEVATION 4.3 7. ; 1-way L1, a**2 + (b**2)(L**2)
in mm, ppm, default = 10. 0.
Use N-file = Y ; Y/N (default no): automatic
procedure to reweight by station
AUTCLN reweight = Y ; Release 10.31 equivalent of Use
N-file
AUTCLN Command File = autcln.cmd ; Filename; default none (use
default options)
Decimation Factor = 1 ; FOR SOLVE, default = 1
Quick-pre decimation factor = 5 ; 1st iter or autcln pre, default
same as Decimation Factor
Quick-pre observable = LC_ONLY ; for 1st soln, default same as
Choice of observable

Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 8.00 ppm
Ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 1000. 99. 500. ; used for
LC_HELP only
Ambiguity resolution NL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; Allow long
baselines with LC_AUTCLN
```



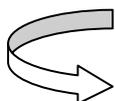
Con esta orden se puede establecer el número de ZTD calculados por procesado, en este trabajo se harán 13 por ventana de procesado, a 3 ventanas solapadas, nos quedan los 24 datos diarios.

```
Zenith Delay Estimation = Y ; Yes/No (default No)
Number Zen = 13 ; number of zenith-delay
parameters (default 1)
Zenith Model = PWL ; cambiado
Zenith Constraints = 0.50 ; zenith-delay a priori constraint
in meters (default 0.5)
Zenith Variation = 0.02 100. ; zenith-delay variation, tau in
meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)
```



El ángulo de elevación resulta de gran importancia, para que el modelo atmosférico simplificado de Sasstamoinen cometa un error menor al estar por encima de los 10º, de ahí que sea ese el límite impuesto.

```
Elevation Cutoff = 10 ; default 0 to use value in
autcln.cmd
```



La opción que viene a continuación es la de los gradientes atmosféricos, en este trabajo no es un parámetro de interés por lo que se le dice que solo calcule 1 por ventana de procesado.

```
Atmospheric gradients = Y ; Yes/No (default No)
Number gradients = 1 ; number of gradient parameters per
day (NS or ES); default 1
Gradient Constraints = 0.01 ; gradient at 10 deg elevation in
meters; default 0.03 m
```

ANEXO I: GAMIT 10.40

Autor: Xabier Archanco Urroz

```
Update T/L files = NONE ; T_AND_L (default), T_ONLY,
L_ONLY, NONE
Update tolerance = .3 ; minimum adjustment for updating
L-file coordinates, default .3 m
```

Arriba se puede observar la tolerancia dada a las coordenadas de las estaciones, estando esta en no más de 30 cm.

```
Met obs source = GPT 50 ; hierarchical list: RNX ufile
GPT/STP [humid value]; default GTP 50
if [humid value] < 0, use RNX
or UFL if available
```

La creación de un archivo met permitirá después procesar con el metutil estos y obtener el valor de agua precipitable. Aquí aparece la orden para seleccionar la mapping function que se quiere utilizar, en este caso será la Global Mapping Function ya comentada anteriormente.

```
Output met = Y ; write the a priori met values to
a z-file (Y/N)
Use met.list = N
Use met.grid = N
DMap = GMF ; GMF(default)/NMFH/VMF1
WMap = GMF ; GMF(default)/NMFH/VMF1
Use map.list = N
Use map.grid = N
Yaw Model = Y ; Y/N default = Y
Radiation Model for ARC = BERNE
Inertial frame = J2000
Tides applied = 31 ; Binary coded: 1 earth 2 freq-
dep 4 pole 8 ocean 16 remove mean for pole tide
; 32 atmosphere ; default = 31
Use otl.list = N
Use otl.grid = Y
Use atl.list = N
Use atl.grid = N
Etide model = IERS03 ; IERS96/IERS03
Apply atm loading = N ; Y/N for atmospheric loading
Use atml.list = N
Use atml.grid = N
Antenna Model = ELEV ; NONE/ELEV/AZEL default = ELEV
SV antenna model = ELEV ; NONE/ELEV default = NONE
SV antenna off = N ; Y/N to estimate satellite
antenna offsets (default N)
Delete AUTCLN input C-files = Y ; Y/N ; default Y to force rerun
of MODEL
Scratch directory = /tmp
```

Los controles opcionales serán de utilidad en cuanto a si se quiere o no modificar la forma de procesado que se establece por defecto o si se necesitan otras pautas para el procesado. No se procederá a ninguna explicación sobre esas opciones.

Optional controls:

```
Inertial frame = B1950 ; B1950/J2000 (default = J2000)
```

```

Initial ARC ; Y/N default = Yes
Final ARC ; Y/N default = No
Radiation Model for ARC ; SPHRC/BERNE/SRDYB/SVBDY
default = SPHRC
Reference System for ARC ; WGS72/WGS84/MERIT/IGS92
(default = IGS92)
Tabular interval for ARC ; 900. seconds (new default),
1350. seconds (old default)
Stepsize for ARC ; 75. seconds (new default),
168.75 seconds (old default)

Earth Rotation ; Diurnal/Semidirunal terms:
Binary coded: 1=pole 2=UT1 4=Ray model; default=7
Estimate EOP ; Binary coded: 1 wob 2 ut1 4
wob rate 8 ut1 rate
Wobble Constraint = 3. 0.3 ; Default 3. (arcsec) 0.3
(arcsec/day)
UT1 Constraint = 0.00002 0.02 ; Default .00002 (sec) 0.02
(sec/day)

Number Zen = 4 ; number of zenith-delay
parameters (default 1)
Zenith Constraints = 0.50 ; zenith-delay a priori
constraint in meters (default 0.5)
Zenith Model = PWL ; PWL (piecewise linear)/CON
(step)
Zenith Variation = 0.02 100. ; zenith-delay variation, tau in
meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)
Gradient Constraints = 0.03 ; gradient at 10 deg elevation in
meters
Gradient Variation = .01 100 ; gradient variation
Tropospheric Constraints = NO ; YES/NO (spatial constraint)

Antenna Model ; NONE/ELEV/AZEL default = NONE
Tide Model ; Binary coded: 1 earth 2 freq-
dep 4 pole 8 ocean default = 15
Yaw Model ; YES/NO default = YES
I-file = N ; Use I-file (Y/N) (default Y)

AUTCLN Postfit = Y ; Assume 'Y' if 'Type of analysis
= 1-ITER' (autcln.cmd.postfit file also)
Delete AUTCLN input C-files = Y ; YES/NO/Intermediate (default
no)
Quick-pre observable = LC ; For 1st iter or autcln pre,
default same as Choice of observable
AUTCLN Command File ; Filename; default none (use
default options)
Delete eclipse data = POST ; ALL/NO/POST (Default = NO)
SCANDD control ; BOTH (default)
/NONE/FIRST/FULL/IFBAD see manual sec. 5.2
Iteration ; CFILES / XFILES (default)
Edit AUTCLN Command File ; YES/NO; default = NO (For
clocks, no longer needed)

Ambiguity resolution WL ; default = 0.15 0.15 1000. 10.
500.

```

ANEXO I: GAMIT 10.40 Autor: Xabier Archanco Urroz

```

Ambiguity resolution NL          ; default = 0.15 0.15 1000. 10.
500.
Type of Biases                   : IMPLICIT (default for quick),
EXPLICIT (default for full)
H-file solutions                 ; ALL ; LOOSE-ONLY
Station Error = BASELINE 10. 0.  ; 1-way L1, a**2 + (b**2)(L**2)
in mm, ppm, default = 10. 0.
Station Error = UNIFORM 10.      ; 1-way L1 in mm, default = 10.
Station Error = ELEVATION 4.3 7.0 ; 1-way L1 , a**2 +
b**2/sin(elev)**2 in mm, default = 4.3 7.0
Satellite Error = UNIFORM 0.     ; 1-way L1 in mm (added
quadratically to station error) default = 0.
Select Epochs                   ; Enter start and stop epoch
number (applies only to SOLVE)
Decimation Factor                ; FOR SOLVE, default = 1
Quick-pre decimation factor = 10 ; 1st iter or autcln pre,
default same as Decimation Factor
Elevation Cutoff = 15.          ; For SOLVE, overrides the MODEL
or AUTCLN values if they are lower
Correlation print                ; Threshold for printing
correlations (default 0.9999)

Export Orbits                    ; YES/NO default = NO
Orbit id                         ; 4-char code read only if Export
Orbits = YES
Orbit Format                      ; SP1/SP3 (NGS Standard Products)
Orbit organization               ; 3-char code read only if Export
Orbits = YES
Reference System for Orbit = ITR93 ;
ITR92/ITR91/ITR90/WGS84/MERIT (for SP3 header)
Lunar eclipses = Y              ; Set = N to turn off lunar
eclipses in ARC to match model of GAMIT < 10.2 (default Y)

Delete all input C-files         ; YES/NO default = NO
Delete MODEL input C-files      ; YES/NO default = NO
Delete AUTCLN input C-files     ; YES/NO default = NO
Update T/L files                 ; T_AND_L (default), T_ONLY,
L_ONLY, NONE
                                (Applies only to update for
final solution after initial )
Update tolerance                 ; minimum adjustment for updating
L-file coordinates, default .3 m
SOLVE-only = YES                ; YES/NO default = NO
X-compress = YES                ; Uncompress/compress X-files
default = NO
SCANDD control                  ; FULL (default), FIRST, BOTH,
IFBAD, NONE
Run CTOX = YES                  ; Make clean X-files from C-files
default = NO
Bias apriori = 100.             ; Optional constraint on biases
for LC_AUTCLN (default 0 -> no constraint)
SOLVE print = Y                 ; Turn on SOLVE output to screen
(default N)

```

ANEXO II: REPITE

REPITE

Ejecutable destinado a llevar a cabo las órdenes que se realizan a la hora de mandar un procesado y que permite facilitar la tarea del usuario automatizando mecanismos. Mediante este programa se lanza automáticamente la orden de procesado tantas veces como se exija para completar el análisis.

```
#!/bin/bash

# Para poder ejecutar asegurar el modo de acceso chmod +x archivo

#####
# Datos a introducir para la ejecución del programa
#
# La solución pasará a la carpeta resultados y nombre del experimento
#####
diainicio=001 # Pon desde que día GPS quieres empezar a calcular incluido
diafinal=002 # Pon que día quieres acabar (este incluido)
experimento=pb07 # Nombre del experimento debe tener 4 dígitos
elano=2007 # Que año se va a procesar
horasaejecutar="0 8 16" # Las horas del día que quieres procesar
# Ojo metutil lo máximo que calcula es hasta las 3 de la mañana del día siguiente
epocas=30 # Dile la duración de las épocas en segundos
numerohoras=12 # Dile el número de horas de procesado
#####
# El número de épocas lo deduce de la siguiente manera:
numeroepocas=`expr $numerohoras "*" 3600 "/" $epocas`

for eldia in $(seq -w $diainicio $diafinal) # -w para indicar que coja bien los días de 1 a 99
do
    for lahora in $horasaejecutar
    do
        ./shgamit.sh $experimento $elano $eldia $lahora $epocas $numeroepocas
        ./shmetutil.sh $experimento $elano $eldia $lahora
    done
done
./resultados.sh $experimento $elano
```

Figura 1 Pantalla de manejo de repite

La información que se debe aportar para lanzar el programa se reduce al día de comienzo y finalización del procesado, nombre del experimento, año del experimento, horas a las que se desee que empiece el procesado, en este caso se puede ver que es un procesado de los días 1 y 2 de un experimento llamado pb07 del año 2007 con tres ventanas lanzadas a las 0, 8 y 16 horas, datos cada 30 segundos y ventanas de 12 horas.

Al lanzar este programa lo que el mismo hace es dar la orden de lanzar otros tres que dependen de él, el shgamit.sh, el shmetutil.sh y el resultados.sh, a continuación se explica qué función realiza cada uno.

```

#!/bin/bash
# Para poder ejecutar asegurar el modo de acceso chmod +x archivo
# Primera palabra: nombre experimento 4 letras
# Segunda palabra: Año experimento 4 letras
# Tercera palabra: Dia experimento, ojo es dia GPS
# Cuarta palabra: Hora de inicio del experimento
# Quinta palabra: Es la duracion de cada epoca en segundos
# Sexta palabra: Es el numero de epocas que se van a procesar
echo "Script para ejecutar GAMIT de forma automática"
echo "Solamente se ejecuta una vez hay por tanto que decirle"
echo "el dia GPS, la hora y el año y el nombre del experimento"
echo "el experimento debe existir ya y dentro tener todos los archivos creados"
# voy a mi directorio home y luego a la carpeta experimentos
cd $HOME
cd experimentos
cd edu
# Llego al directorio del experimento
cd $1
cd repite
mkdir resultados
cd ..
# Ejecutamos gamit
sh gamit -d $2 $3 -orbit IGSF -expt $1 -sessinfo $5 $6 $4 0
cd $3
# CREO TRES FICHEROS EL QUE EMPIEZA POR "A" CONTIENE EL ZTD "N" GRADIENTE NS "E" GRADIENTE ESTE OESTE
cp o$1a.$3 $HOME/experimentos/edu/$1/repite/resultados/o$1a$4.$3
cp z*.* $HOME/experimentos/edu/$1/repite/resultados
# grep "ATM_ZEN X" o$1a.$3 > $HOME/experimentos/resultados/$1/k$1$3.$4
# grep "NS_GRAD" o$1a.$3 > $HOME/experimentos/resultados/$1/n$1$3.$4
# grep "EW_GRAD" o$1a.$3 > $HOME/experimentos/resultados/$1/e$1$3.$4
# cd $HOME
# cd experimentos
# cd resultados
# cd $1
# grep -v "ATM_ZEN X q-file:" k$1$3.$4 > a$1$3.$4
# sed s/ATM_ZEN/$1$3.$4_ZTD/g a$1$3.$4 >> ZTD
# sed s/NS_GRAD/$1$3.$4_NSGRAD/g n$1$3.$4 >> NS
# sed s/EW_GRAD/$1$3.$4_EWGRAD/g e$1$3.$4 >> EW
# cambio el nombre donde pone ATM_ZEN por el nombre del fichero
# cambio el nombre donde pone ES_GRAD por el nombre del fichero
# cambio el nombre donde pone NS_GRAD por el nombre del fichero

```

Figura 2 Imagen correspondiente al archivo shgamit.sh

Este fichero es el responsable de lanzar la orden `sh_gamit`, en negrita, para cada ventana de procesado lanzará nuevamente esta orden generando tantos archivos finales como procesados realice, estos archivos finales hay que evitar que sean sustituidos por los que se procesan nuevos, para ello se van almacenando en una carpeta diferente llamada resultados.

La figura 3 contiene el archivo `shmetutil.sh`, se encarga de lanzar la orden en negrita que permite obtener datos de agua precipitable a partir de lo ZTD generados anteriormente.

En la figura 4 tenemos el archivo `resultados.sh`, este crea una carpeta dentro de la carpeta `repite` en la que se van a ir almacenando todos los archivos necesarios para lanzar después el `metutil` y obtener los datos finales de agua precipitable.

En resumen, estos archivos son una forma de facilitar el manejo de programa Gamit y de automatizar el procesado de datos, sin ellos resultaría muy laborioso tener que dar la orden de procesado cada vez que cambiásemos de ventana o de día de procesado.

```
#!/bin/bash
# Primera palabra: nombre experimento 4 letras
# Segunda palabra: Año experimento 4 letras
# Tercera palabra: Día experimento, ojo es día GPS
# Cuarta palabra: Hora de inicio del experimento que dura 12 horas desde esa hora

dosano=`expr substr $2 3 2`

cd $HOME
cd experimentos
cd edu
cd $1
cd repite
cd resultados
mkdir met

awk | ls z*.$3 > kk22

exec 0<kk22
while read -r linea
do
echo $linea
sh metutil -f o$1a$4.$3 -z $linea
salida=`expr substr $linea 2 4`
echo $salida

fichero1=met_`$salida`.$dosano$3
fichero2=met_`$salida`$4.$dosano$3
echo $fichero2
cp $fichero1 $HOME/experimentos/edu/$1/repite/resultados/met/$fichero2
done
# rm z*.$3
```

Figura 3 shmetutil.sh

```
#!/bin/bash
# Primera palabra: nombre experimento 4 letras
# Segunda palabra el año con 4 letras

cd $HOME
cd experimentos
cd edu
cd $1
cd repite
cd resultados
cd met

awk | ls met_*. * > meteoro.txt # meteoro.txt contiene los archivos a procesar

# rm ???? # borro todos los ficheros originales para no tener problemas

exec 0<meteoro.txt
while read -r linea
do
fichero1=$linea
cuenta=`expr $cuenta "+" 1` #cuenta el numero de archivos que existen
estacion=`expr substr $linea 5 4` #contiene el nombre de la estacion

echo $estacion
grep $2 $fichero1 > kkdelaavaca
sed s/$2/$fichero1/g kkdelaavaca >> $estacion # el archivo estacion es el final
done
echo $cuenta
```

Figura 4 Resultados.sh

ANEXO III: FICHAS ESTACIONES

ÍNDICE

1. CANT
2. MALL
3. ZARA
4. VALE
5. AYOR
6. DENI
7. TORR
8. VCIA
9. ALCO
10. BORR
11. MORE
12. UTIE
13. BRUS
14. CAGL

FICHA Nº 1

ESTACIÓN: CANT (Santander; España)

RED: ERGNSS (IGN)

UBICACIÓN

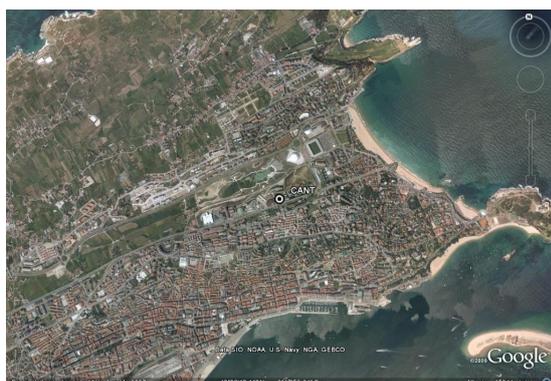


FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

SITUACIÓN

Código estación: CANT
Nombre estación: Cantabria
Localización: E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Universidad De Cantabria
 Avenida de los Castros s/n - Santander
Construcción: Hexaedro de hormigón armado, torre metálica de 3 m de altura.
 La marca de coordenadas se encuentra en base del hexaedro.
Código IERS: 13438M001
Fecha instalación: 11 / 03 / 2000

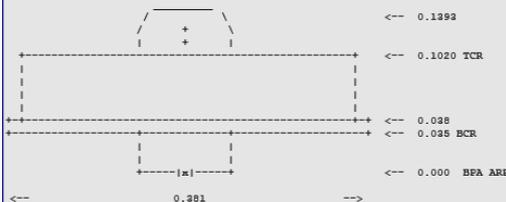
COORDENADAS ETRS89

Cartesianas (X, Y, Z)	Geográficas (ϕ , λ , h)	U.T.M. (x, y, huso)
4625924.690	43° 28' 19.11799" N	435450.923
-307096.765	3° 47' 53.03855" W	4813538.533
4365771.175	99.287 (elipsoidal)	30

INSTRUMENTACIÓN

Receptor: TRIMBLE NETRS
Fecha de instalación: 02 / 02 / 2007
Antena: TRM29659.00 NONE
Fecha de instalación: 02 / 02 / 2007
Altura antena: 3.049 (BPA)

Esquema antena



FICHA Nº 2

ESTACIÓN: MALL (Mallorca; España)

RED: ERGNSS (IGN)

UBICACIÓN



FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

SITUACIÓN

Código estación: MALL
Nombre estación: Palma de Mallorca
Localización: Centro Oceanográfico de Baleares. Muelle de Poniente s/n.
07015 Palma de Mallorca
Construcción: Pilar de hormigón de 0,50 m de altura.
La marca de coordenadas se encuentra en placa metálica.
Código IERS: 13444M001
Fecha instalación: 02 / 05 / 2000

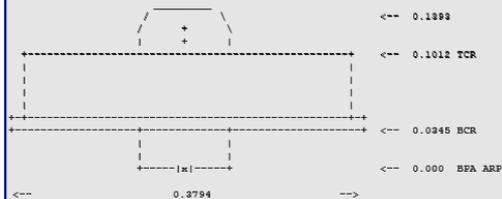
COORDENADAS ETRS89

Cartesianas (X, Y, Z)	Geográficas (φ , λ , h)	U.T.M. (x, y, huso)
4919369.704	39° 33' 9.44525" N	467743.566
225499.577	2° 37' 28.38314" E	4378172.043
4039849.606	62.063 (elipsoidal)	31

INSTRUMENTACIÓN

Receptor: LEICA GRX 1200 GGPRO
Fecha de instalación: 30 / 10 / 2008
Antena: LEIAT504 GG LEIS
Fecha de instalación: 30 / 10 / 2008
Altura antena: 0.060 (BPA)

Esquema antena



FICHA Nº 3

ESTACIÓN: ZARA (Zaragoza; España)

RED: ERGNSS (IGN)

UBICACIÓN



FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

SITUACIÓN

Código estación: ZARA
Nombre estación: Zaragoza
Localización: Agencia Estatal de Meteorología, Paseo del Canal, 17
50071 Zaragoza
Construcción: Hexaedro de hormigón armado, torre metálica de 3 m de altura.
Marca de coordenadas en el hexaedro de hormigón.
Código IERS: 13462M001
Fecha instalación: 25 / 04 / 2006

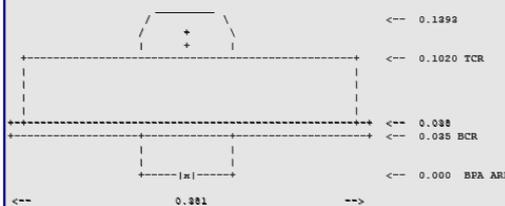
COORDENADAS ETRS89

Cartesianas (X, Y, Z)	Geográficas (ϕ , λ , h)	U.T.M. (x, y, huso)
4773803.543	41° 38' 0.22199" N	676401.994
-73506.519	0° 52' 55.79257" W	4611240.268
4215453.698	296.112 (elipsoidal)	30

INSTRUMENTACIÓN

Receptor: TRIMBLE NETRS
Fecha de instalación: 25 / 04 / 2006
Antena: TRM29659.00
Fecha de instalación: 25 / 04 / 2006
Altura antena: 3.259 (ARP)

Esquema antena



FICHA Nº 4

ESTACIÓN: VALE (Valencia; España)

RED: ERGNSS (IGN)

UBICACIÓN



FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

SITUACIÓN

Código estación: VALE
Nombre estación: Valencia
Localización: Escuela de Cartografía y Geodesia, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, s/n - Valencia
Construcción: Hexaedro de hormigón armado y torre metálica de 3 m de altura
Marca de coordenadas en base del hexaedro de hormigón.
Código IERS: 13439M001
Fecha instalación: 16 / 12 / 1999

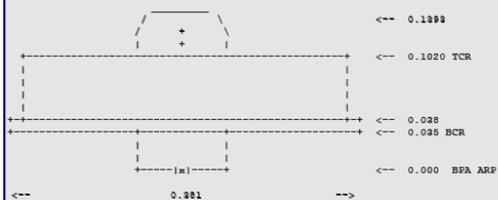
COORDENADAS ETRS89

Cartesianas (X, Y, Z)	Geográficas (ϕ , λ , h)	U.T.M. (x, y, huso)
4929534.046	39° 28' 50.97045" N	728984.982
-29050.676	0° 20' 15.54340" W	4373520.439
4033709.925	77.592 (elipsoidal)	30

INSTRUMENTACIÓN

Receptor: TRIMBLE NETRS
Fecha de instalación: 13 / 11 / 2006
Antena: TRM29659.00 TCWD
Fecha de instalación: 16 / 12 / 1999
Altura antena: 3.039 (BPA)

Esquema antena



FICHA Nº 5

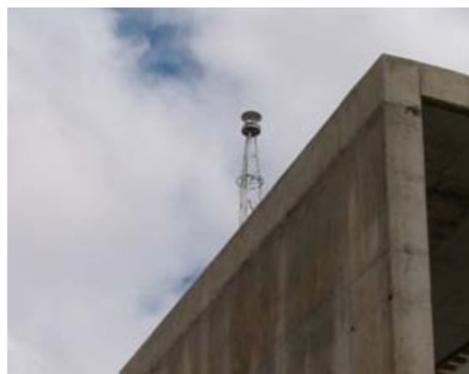
ESTACIÓN: AYOR (Ayora; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN



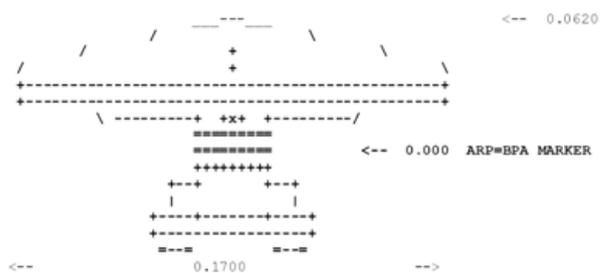
FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena

LEIAX1202GG



Extracto Metadatos

4-char station code:	AYOR
station name:	AYOR
station ID number:	13499M001
antenna ID number:	
antenna type:	LEIAX1202GG NONE
antenna height (m):	0.0000
receiver ID number:	352267
receiver type:	LEICA GRX1200GGPRO
receiver firmware:	7.50/3.019
RINEX version:	2.11
RINEX translator:	teqc 2007Jun25

FICHA Nº 6

ESTACIÓN: DENI (Denia; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN

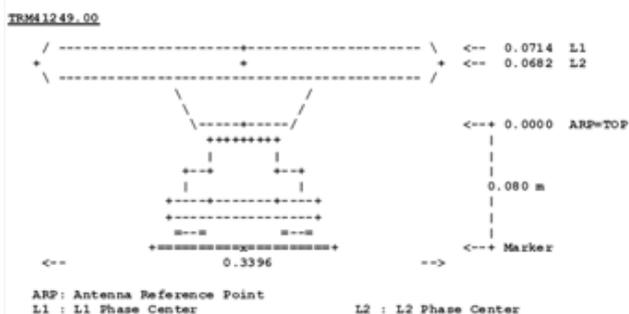


FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena



Extracto Metadatos

4-char station code: DENI
station name: DENI
station ID number: 13498M001
antenna type: TRM41249.00
antenna height (m): 0.0800
receiver ID number: 020277697
receiver type: TRIMBLE 5700
receiver firmware: NP 1.23 / SP 1.22
RINEX version: 2.11
RINEX translator: GPSNet 2.6 2396

FICHA Nº 7

ESTACIÓN: TORR (Torrelaveja ; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN



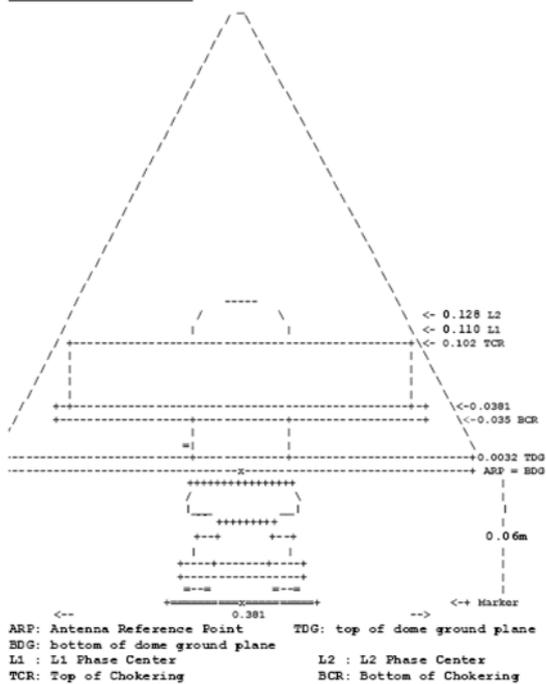
FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena

TRM29659.00 TCWD



Extracto Metadatos

ÚLTIMO CAMBIO EQUIPO/ANTENA: [DOY_287/2009 - 09:00 UT](#)

4-char station code:	TORR
station name:	TORR
station ID number:	19302M001
antenna ID number:	0220346548
antenna type:	TRM29659.00 TCWD
antenna height (m):	0.0600
receiver ID number:	4450241585
receiver type:	TRIMBLE NETRS
receiver firmware:	1.25
RINEX version:	2.11
RINEX translator:	teqc 2007Jun25

FICHA Nº 8

ESTACIÓN: VCIA (Valencia; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN



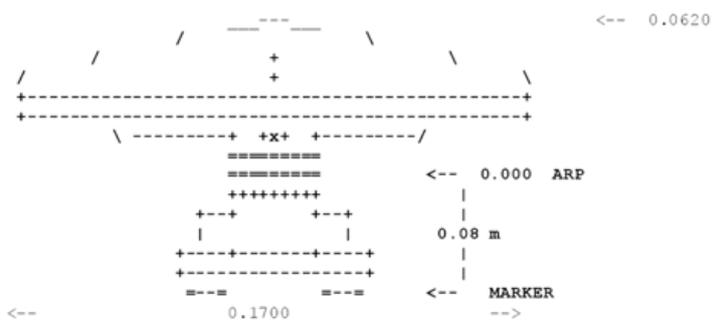
FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena

LEIAX1202GG



Extracto Metadatos

ÚLTIMO CAMBIO EQUIPO/ANTENA: DOY 021/2009 -14:00 UT

4-char station code:	VCIA
station name:	VCIA
station ID number:	13497M001
antenna ID number:	08340038
antenna type:	LEIAX1202GG NONE
antenna height (m):	0.0800
receiver ID number:	356632
receiver type:	LEICA GRX1200GGPRO
receiver firmware:	8.00/3.019
RINEX version:	2.11
RINEX translator:	teqc 2007Jun25

FICHA Nº 9

ESTACIÓN: ALCO (Alcoy; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN



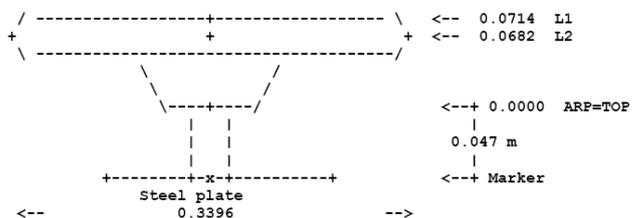
FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena

TRM41249.00



ARP: Antenna Reference Point
L1 : L1 Phase Center

L2 : L2 Phase Center

Extracto Metadatos

4-char station code: ALCO
station name: ALCO
station ID number: 13496M001
antenna ID number: 12589891
antenna type: TRM41249.00 NONE
approx position xyz: 4984687.4297 -41199.1554 3966605.9473
antenna height (m): 0.0470
receiver ID number: 4426235499
receiver type: TRIMBLE NETRS
receiver firmware: NP 1.12 / SP 1.25
RINEX version: 2.11
RINEX translator: teqc 2007Jun25

FICHA Nº 10

ESTACIÓN: BORR (Burriana; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN

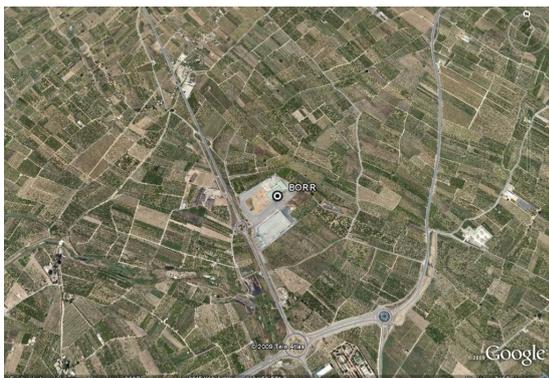


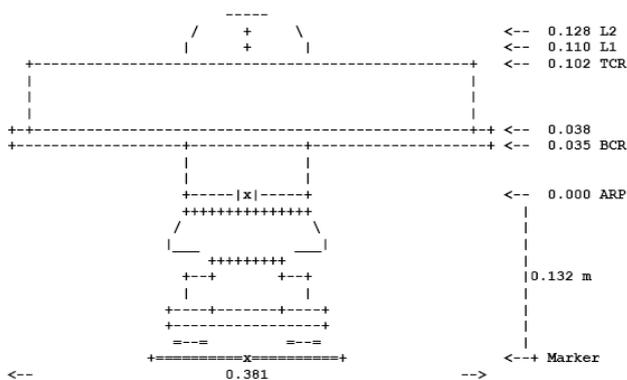
FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena

TRM29659.00



ARP: Antenna Reference Point
L1 : L1 Phase Center
TCR: Top of Chokering

L2 : L2 Phase Center
BCR: Bottom of Chokering

Extracto Metadatos

4-char station code: BORR
station name: BORR
station ID number: 13480M001
antenna ID number: 0220346562
antenna type: TRM29659.00
approx position xyz: 4899519.2985 -7115.8173 4069961.4078
antenna height (m): 0.1320
receiver ID number: 0220325995
receiver type: TRIMBLE R7
receiver firm ware: NP 2.26 / SP 1.31
RINEX version: 2.11
RINEX translator: GPSNet 2.6 2653

FICHA Nº 11

ESTACIÓN: MORE (Morella; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN



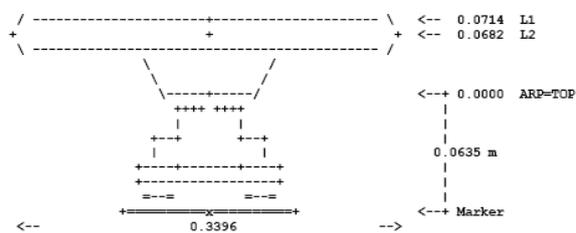
FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena

TRM41249.00 TZGD



ARP: Antenna Reference Point
L1 : L1 Phase Center

L2 : L2 Phase Center

Extracto Metadatos

*4-char station code: MORE
*station name: MORE
station ID number: 19303M001
antenna ID number: 012466232
antenna type: TRM41249.00 TZGD
approx position xyz: 4849098.7850 -8595.4180 4130985.8360
antenna height (m): 0.0640
receiver ID number: 4445240365
receiver type: TRIMBLE NETRS
receiver firmware: NP 1.12 / SP 1.20
RINEX version: 2.11
RINEX translator: teqc 2007Jun25

(*IERS LIST REGISTERED 4 CHAR CODE: MORE)

FICHA Nº 12

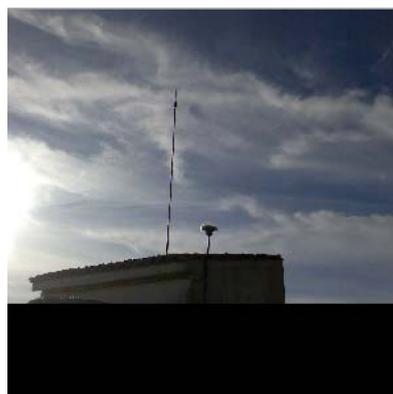
ESTACIÓN: UTIE (Utiel; España)

RED: ERVA

UBICACIÓN

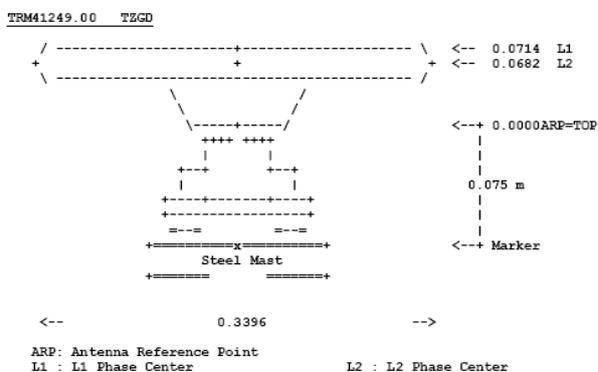


FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Croquis Antena



Extracto Metadatos

4-char station code: UTIE
station name: UTIE
station ID number: 19301M001
antenna ID number: 012517962
antenna type: TRM41249.00 TZGD
approx position xyz: 4922873.2371 -103857.7186 4041693.7180
antenna height (m): 0.0750
receiver ID number: 0220312532
receiver type: TRIMBLE 5700
receiver firm ware: NP 1.30 / SP 1.22
RINEX version: 2.11
RINEX translator: GPSNet 2.51 2653

FICHA Nº 13

ESTACIÓN: BRUS (Bruselas; Bélgica)

RED: IGS

UBICACIÓN

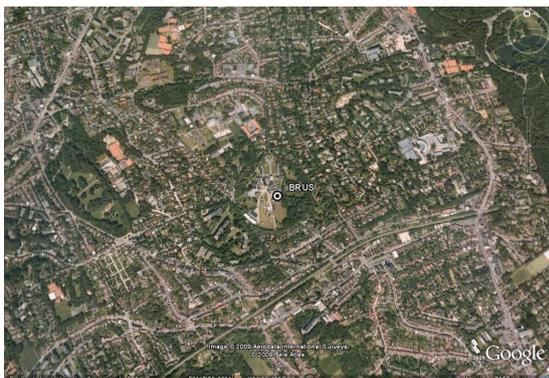


FOTO ANTENA

NO HAY IMÁGENES DE LA ANTENA
DISPONIBLES

INFORMACIÓN DE INTERÉS

Site Location Information

City or Town : Brussels
State or Province : Brabant
Country : Belgium
Tectonic Plate : Eurasian
Approximate Position (ITRF)
X coordinate (m) : 4027893.86
Y coordinate (m) : 307045.71
Z coordinate (m) : 4919475.03
Latitude (N is +) : +504752.08
Longitude (E is +) : +0042133.12
Elevation (m,ellips.) : 00149.7
Additional Information : (multiple lines)

GNSS Receiver Information

Receiver Type : ROGUE SNR-8000
Satellite System : GPS
Serial Number : T-174
Firmware Version : 2.8
Elevation Cutoff Setting : 0
Date Installed : 1993-10-20
Date Removed : 1994-04-24
Temperature Stabiliz. : NONE
Additional Information : (multiple lines)

FICHA Nº 14

ESTACIÓN: CAGL (Cagliari; Italia)

RED: IGS

UBICACIÓN

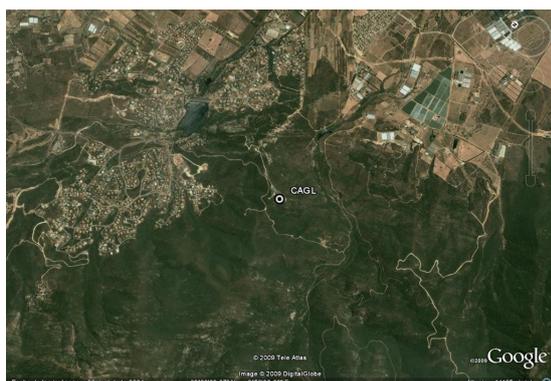


FOTO ANTENA



INFORMACIÓN DE INTERÉS

Site Location Information

City or Town : Cagliari
State or Province :
Country : Italy
Tectonic Plate : EURASIAN
Approximate Position (ITRF)
X coordinate (m) : 4893378.944
Y coordinate (m) : 772649.645
Z coordinate (m) : 4004182.051
Latitude (N is +) : +390809.24
Longitude (E is +) : +0085822.08
Elevation (m,ellips.) : 238.4
Additional Information : (multiple lines)

GNSS Receiver Information

Receiver Type : ROGUE SNR-8100
Satellite System : GPS
Serial Number : 159
Firmware Version : 2.8.32.1
Elevation Cutoff Setting : 15
Date Installed : 1995-04-07
Date Removed : 2001-07-11
Temperature Stabiliz. : 20 +/- 5
Additional Informatio : Firmware version made

Thur 93/09/02