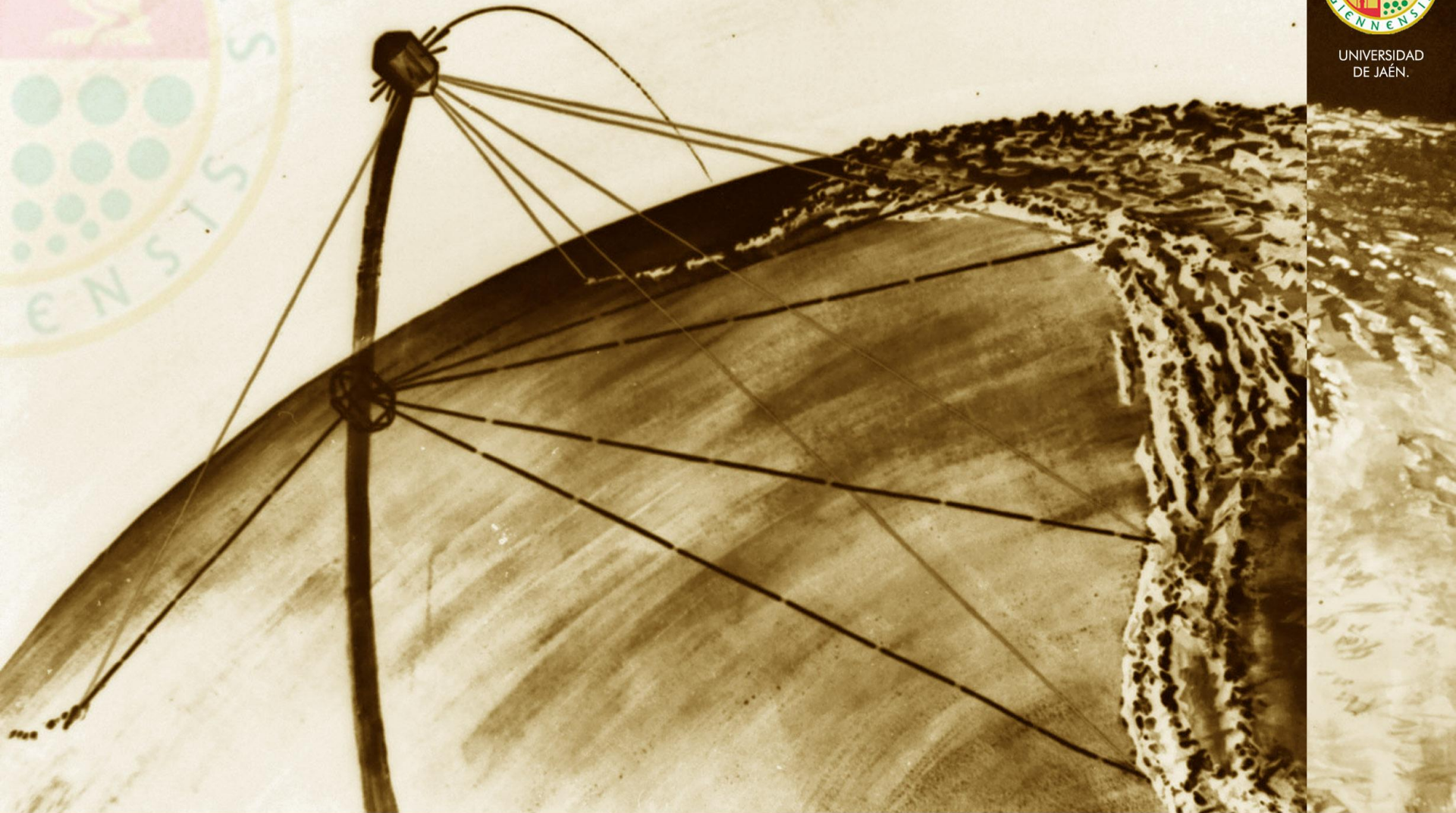


PFC

ANÁLISIS DE SOLUCIONES GPS MEDIANTE PPP EN LA DETERMINACIÓN DE SERIES TEMPORALES.



UNIVERSIDAD
DE JAÉN.



Alumna: Zuriñe Agea Valenzuela.
INGENIERIA TECNICA EN TOPOGRAFIA.

Departamento Ingeniería Cartográfica,
Geodésica y Fotogrametría.

OBJETIVOS

Analizar la metodología PPP para su utilización en la determinación precisa de posiciones y velocidades, comparando las series temporales de cuatro estaciones de la Red GNSS de Guipúzcoa obtenidas con PPP con las soluciones obtenidas con métodos diferenciales (Bernese 5.0)



UNIVERSIDAD
DE JAÉN.

FASES DEL PROYECTO

Índice

- Sistemas de Referencia
- GPS
- PPP VS. Métodos diferenciales
- ✓ Situación de la zona de trabajo
- ✓ Red GNSS de Guipúzcoa
- ✓ GPSTk
- ✓ Datos y parámetros básicos
- ✓ Análisis de las precisiones
 - Control de calidad
 - Estimación de velocidades y coordenadas con PPP
 - Comparativa con soluciones en modo diferencial
- ✓ Sensibilidad y análisis de resultados
- ✓ Conclusiones



UNIVERSIDAD
DE JAÉN.

SISTEMAS DE REFERENCIA



¿Qué es un *Sistema de Referencia*? Y ¿Qué es un *Marco de Referencia*?

- Conjunto de *convenciones y conceptos teóricos* bien modelados que definen, en cualquier momento, la orientación, ubicación y escala de tres ejes coordenados (X, Y, Z)
- *Materialización* del Sistema de Referencia *mediante observaciones*, con sus correspondientes errores, entre puntos reales cuyas coordenadas son determinadas sobre el SR dado

Relación: SR y Marco conforman la pareja necesaria para materializar una plataforma de georreferenciación.

SISTEMAS DE REFERENCIA

WGS84 Sistema de Referencia Terrestre adoptado por el DoD para el posicionamiento GPS.

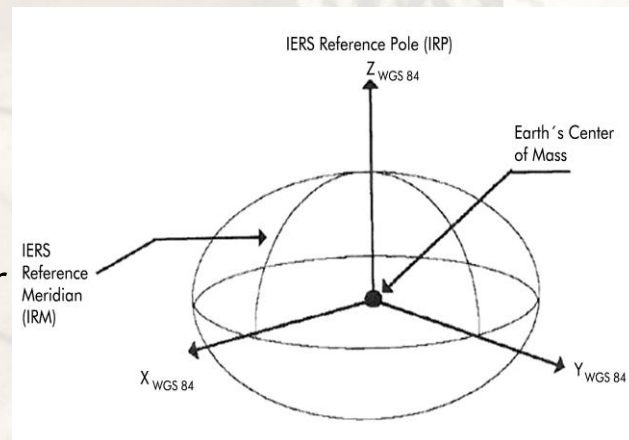
Es un CTRS → Sistema de Coordenadas geocéntrico global, fijo con la Tierra y definido por los parámetros:

- **Origen:** Centro de masas de la Tierra.
- **Sistema de ejes coordenados:**

Eje Z: dirección del polo de referencia del IERS

Eje X: intersección del meridiano origen definido por el BIH y el plano del Ecuador

Eje Y: eje perpendicular a X y Z y coincidentes en el origen




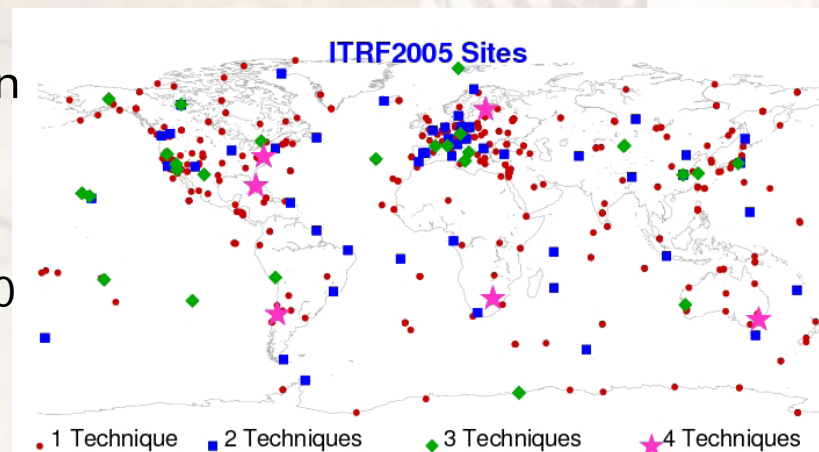
SISTEMAS DE REFERENCIA



ITRF

Establecido por el IERS, está basado en las coordenadas y velocidades estimadas de una serie de estaciones permanentes.

- ITRF se produce por la combinación de soluciones de *diferentes técnicas* espaciales: VLBI, SLR, LLR, GPS y DORIS
- Dada la *dependencia* de las coordenadas geodésicas con respecto al *tiempo*, el ITRF es *complementado indicando su época*.
- Su *continua evolución* permite  precisión
- *Realizaciones ITRF*: ITRF 92, ITRF 93, ITRF 94, ITRF 96, ITRF 97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008



SISTEMAS DE REFERENCIA



ITRF05

- *Características:* origen geocéntrico, escala definida más de 26 años VLBI
- Se procesa *a partir de series temporales* de estaciones y de los EOP
- Se basa en soluciones semanales (*diversas técnicas* y Organismos)

IGS05

- Solución del IGS *basada en ITRF05* (sólo a partir de estaciones GPS)
- Se procesa sólo con *APCV* (no consistente con ITRF05)

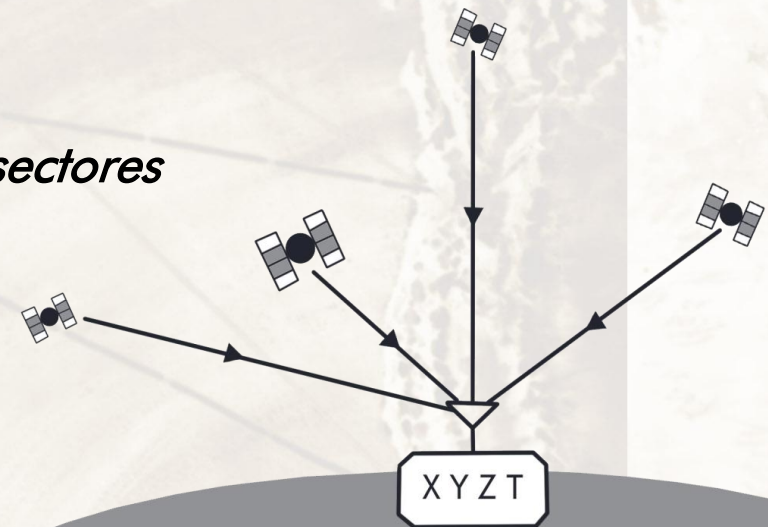
ITRF08

- Se basa en el *reprocesamiento de series* de todas las técnicas para → usar estándar *actual* con *mismo software* para → reducción + modelización + corrección de observaciones = *conservación de definición del ITRF en el tiempo.*

GPS

¿Qué es?

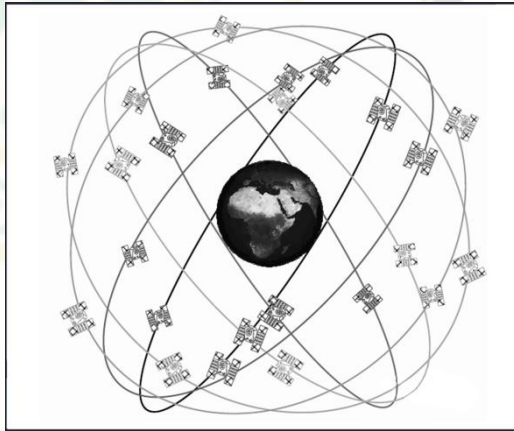
- **Desarrollado** a mediados de los años 70 por EEUU para **solventar** uno de los principales problemas TRANSIT (larga duración intervalos entre medidas)
- Durante su desarrollo se puso **atención en tres aspectos**:
 - Permitir a usuarios **determinar su posición, velocidad y tiempo**
 - Ser **continuo y global**
 - Ofrecer **potencial** para su uso civil
- El GPS puede considerarse dividido en **tres sectores** fundamentales:
 - Espacial
 - Control
 - Usuario



GPS

Funcionamiento

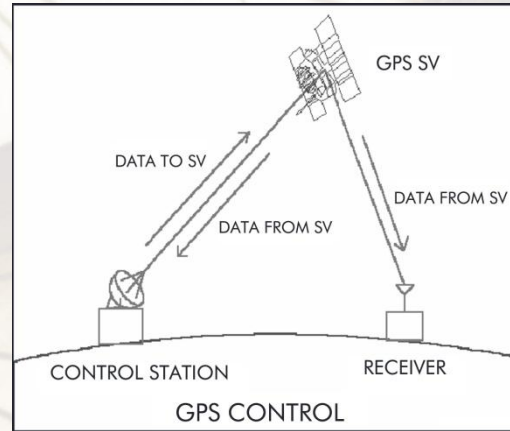
SECTOR ESPACIAL



Formado por satélites NAVSTAR transmitiendo señal, posición y salud:

- 24 satélites
- Altura orbital ~20000km
- En 6 planos orbitales

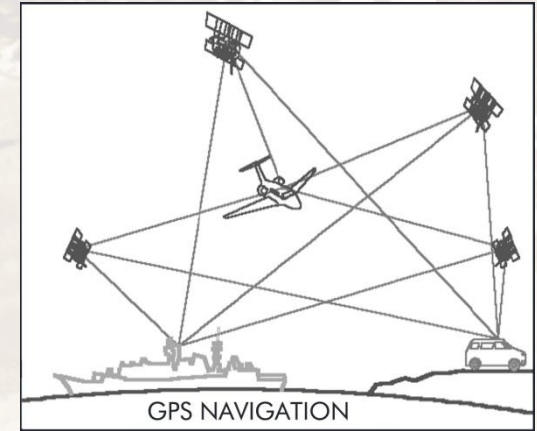
SECTOR CONTROL



Consiste en EMC + 4:

- Siguen los satélites
- Calculan su posición
- Transmiten + supervisan para el control diario de satélites.

SECTOR USUARIO



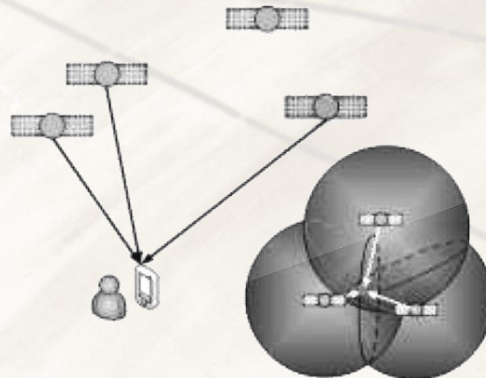
Formado por todos los que reciben señales GPS con un receptor determinando posición y hora.

GPS

Determinación y cálculo de la posición

El *cálculo de la posición* depende básicamente de *2 parámetros*: posición del satélite y su reloj (información transmitida en la señal del satélite)

- El receptor conoce la situación de satélites por las efemérides enviadas
- El receptor mide distancia a satélites+calcula posición(tiempo viaje señal)
- Cada satélite determina una esfera para la situación del receptor
- Se necesitan 4 satélites para posición + eliminación de E sincronismo



$$P = \rho + \Delta t_0 * c + efectos$$

GPS

Principales fuentes de error en GPS

- ✓ Relativos al satélite:
 - Reloj del satélite
 - En los parámetros orbitales
- ✓ Relativos a la propagación de la señal:
 - Refracción ionosférica
 - Refracción troposférica
 - Saltos de ciclos
 - Efecto Multipath
- ✓ Relativos al receptor:
 - Reloj del receptor
 - Manipulación de los equipos
 - Retardos instrumentales
 - PCV de la antena



UNIVERSIDAD
DE JAÉN.

POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL (DGPS)

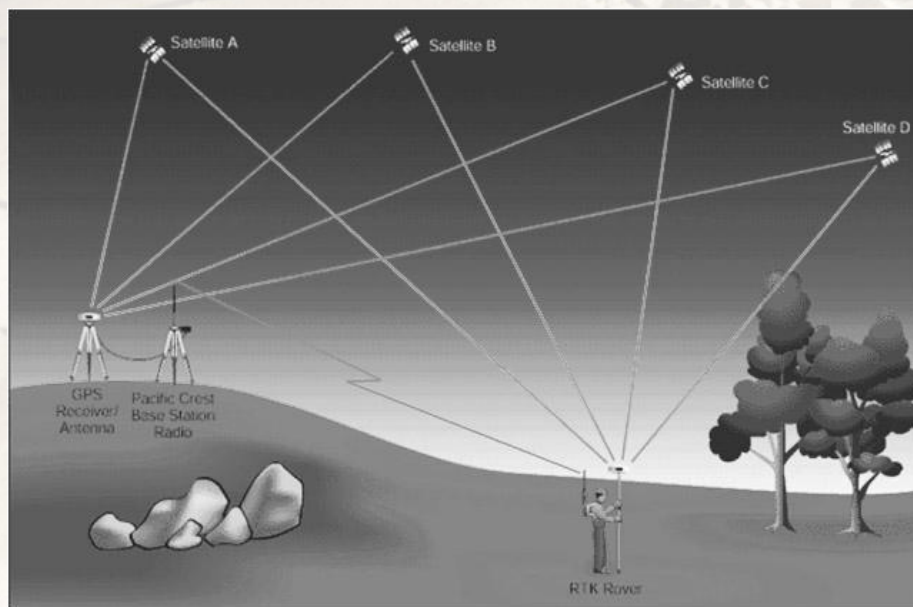
Sistema que da correcciones a los datos de los satélites GPS utilizando un *receptor referencia* (conocido) se obtienen coordenadas a un *receptor móvil*.

Modelo utilizado:

Dobles Diferencias (eliminan desfases de los relojes y suavizan efectos ionosférico y troposférico)

Actualmente:

DD es el modelo más extendido y el más preciso.



PPP



UNIVERSIDAD
DE JAÉN

PPP = método de posicionamiento absoluto cuyas diferencias respecto de los métodos clásicos relativos son varias. A diferencia de los modelos diferenciales consiste en determinar época a época, las coordenadas absolutas.

- Para lograr **posicionamiento PPP preciso** → necesario **modelar efectos** puesto que ninguno se cancela como en DD
- **Efectos a modelar** → aquellos que afectan a las *señales GNSS* (refracción ionosférica) y a la *ubicación en sí*.
- A partir de la combinación de ecuaciones de observación de PPP quedan:

$$\rho + c dt + M ZPD + \varepsilon P - P_3 = 0$$

$$\rho + c dt + M ZPD + N\lambda + Tr + \varepsilon\varphi - \varphi_3 = 0$$

Ecuaciones para realizar un *ajuste mínimo cuadrático* a partir del modelo de ecuaciones de observación:

$$Ax - t = v \rightarrow \hat{x} = (A^t PA)^{-1} A^t Pt$$

PPP VS. Métodos diferenciales



UNIVERSIDAD
DE JAÉN

Las *ventajas de PPP respecto al método de posicionamiento diferencial* son:

- Intervalo de muestreo
- Estaciones de referencia
- Cualquier parte del mundo
- Muy preciso
- Permite analizar elementos que DD eliminan
- Cálculo muy rápido

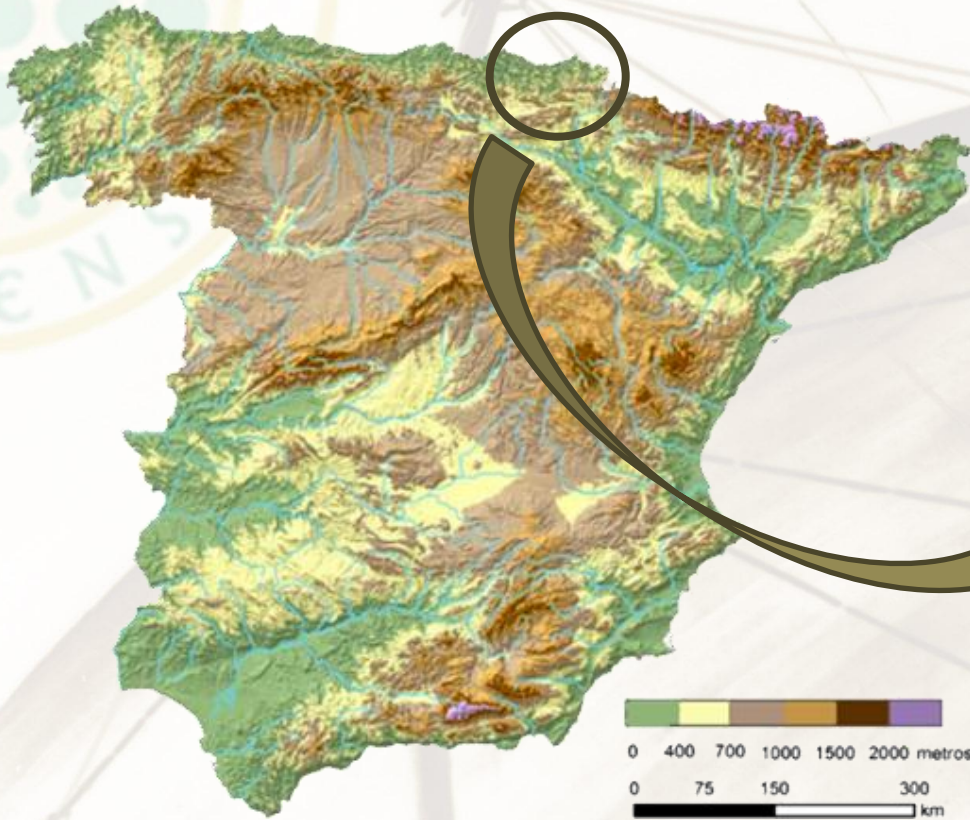
Las *desventajas de PPP respecto al posicionamiento diferencial* son:

- Intervalo de muestreo actualmente 900s
- Necesita modelos muy precisos
- 2-3 horas para que la solución converja

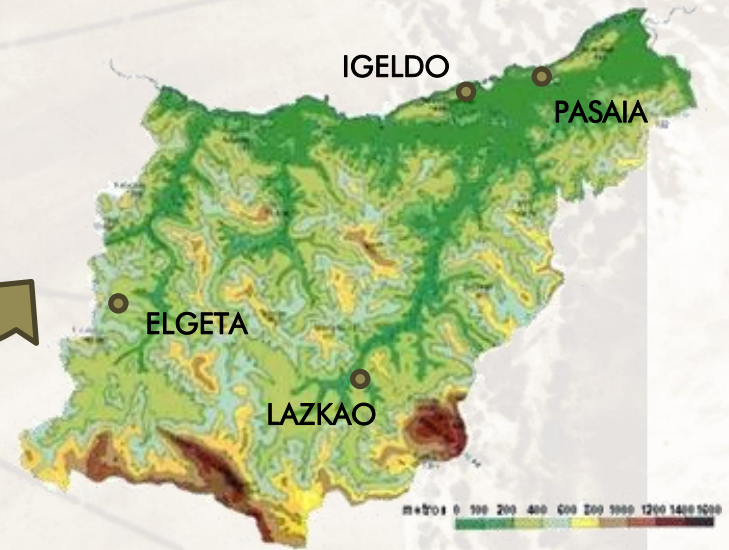
SITUACION DE LA ZONA DE PROYECTO



UNIVERSIDAD
DE JAÉN.



Mapa topográfico de la España peninsular



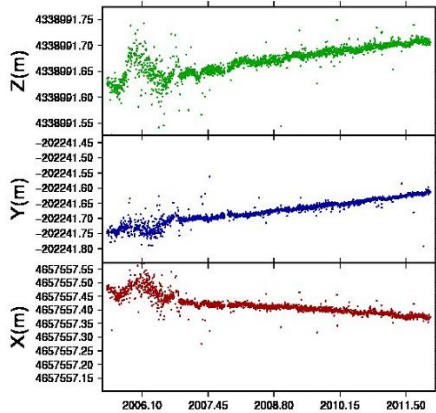
Mapa topográfico de Guipúzcoa

RED GNSS ACTIVA DE GIPUZKOA

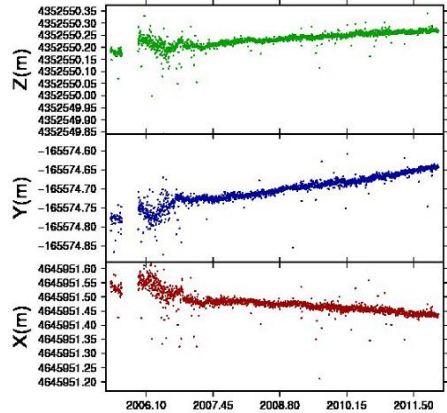


UNIVERSIDAD DE JAÉN

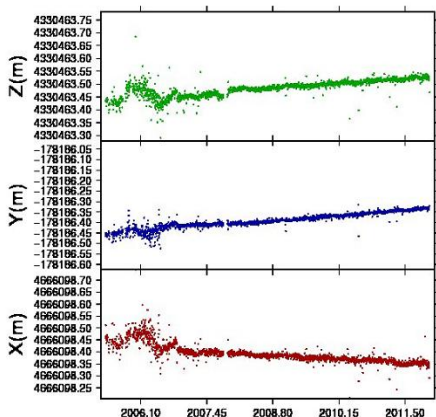
Elge, ITRFxx



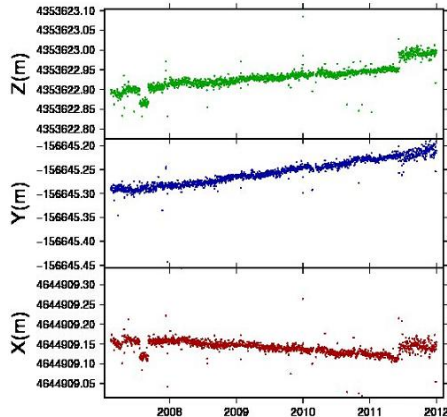
Igel, ITRFxx



Lazk, ITRFxx



Pasa, ITRFxx



b5m.gipuzkoa.net

¿Qué son los GNSS?

Formada por una constelación de satélites cuyo objetivo es permitir localización a un usuario en cualquier lugar de la Tierra.



Ventajas:

- Independiente de condiciones atmosféricas
- Proporcionan datos de posición continua
- En cualquier lugar de la Tierra
- Disponible para cualquier usuario

ANÁLISIS DE PRECISIONES



Respecto al análisis de la precisión obtenida:

- **Soluciones:** verificado con estaciones IGS.
- **Series Temporales:** se comparan series obtenidas con PPP de 4 estaciones de la Red GNSS de Guipúzcoa con las obtenidas con Bernese 5.0 (BPE).

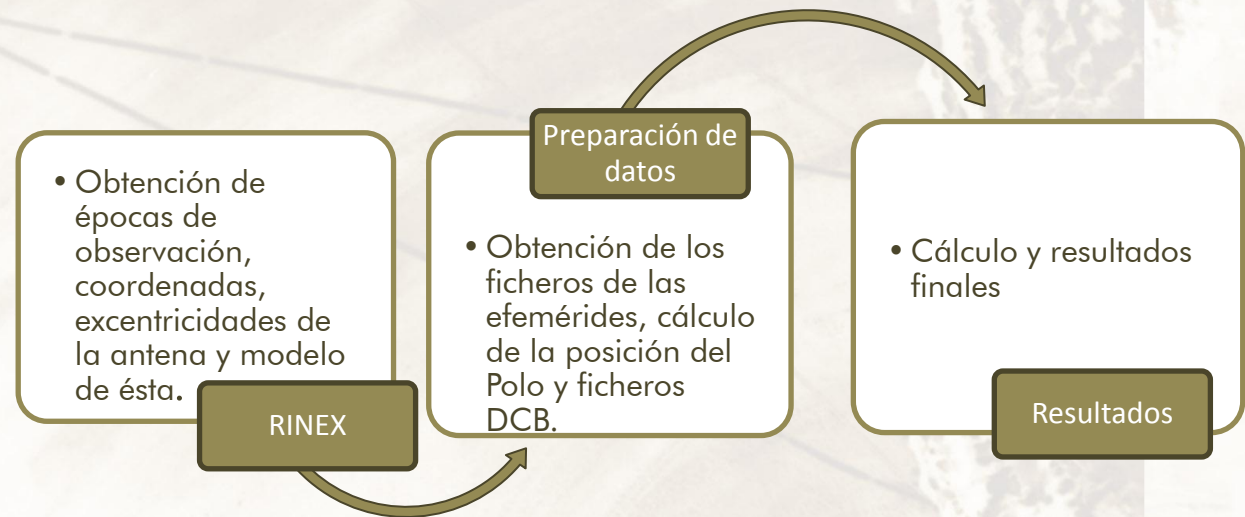
- **A considerar:**
 - los datos de muestreo con BPE son de 30s, mientras con PPP son de 900s (para evitar interpolar relojes de los satélites). Las órbitas, siempre IGS.
 - PPP evita la formación de vectores DDs y la sincronización de los relojes de los receptores,
 - En PPP la troposfera siempre se estima.

GPSTK

GPSTk (www.gpstk.org). Estructura general:

- Librería general + auxiliares + aplicaciones básicas.
- Desarrollado por *Space Geophysics Laboratory* (Universidad de Texas).
- Cuenta con multitud de **desarrolladores en todo el mundo**.
- Escrito en **ANSI C++** para garantizar su **portabilidad** a cualquier arquitectura y S.O.
- **Fácil de compilar**, gracias a *jam*, aunque puede usar *makefiles*.

Procesamiento GPSTk-PPP



GPSTK



Clases GPSTk utilizadas:

Clase	Aplicación/Utilidad
RequireObservables.hpp	Verifica si están los observables necesarios
ComputeLinear.hpp	Detección de los saltos de ciclo con L3 y Melbourne-Wubben
SatArcMarker.hpp	Control de las órbitas
Decimate.hpp	Demuestra, en caso de que los intervalos de las órbitas y relojes no coincidan con los definidos
BasicModel.hpp	Análisis inicial de la señal recibida
EclipsedSatFilter.hpp	Eliminación de los satélites en eclipse
GravitationalDelay.hpp	Retardo por variación de la gravedad a lo largo de la trayectoria de la señal
ComputeSatPCenter.hpp	Cálculo del efecto por la variación de los centros de fase del satélite
CorrectObservables.hpp	Correcciones debidas a la ubicación, como son mareas, carga, variaciones de los centros de fase,...
ComputeWindUp.hpp	Corrección por polaridad de la señal
ComputeTropModel.hpp	Corrección troposférica
ComputeLinear.hpp	Cálculo con combinaciones lineales libres de ionosfera de código (P3) y fase (L3)
SimpleFilter.hpp	Detección inicial de observaciones groseras a partir de las medidas P3
PhaseCodeAlignment.hpp	Alinear medidas de código y fase, manteniendo la naturaleza entra de las ambigüedades de fase
ComputeLinear.hpp	Cálculo de residuos de código y fase
ComputeDOP.hpp	Cálculo de los DOPs
SolverPPP.hpp	Resolución del sistema de ecuaciones con filtrado Kalman Extendido, en función de las opciones activadas
SolverPPPFb.hpp	Reprocesamiento PPP, en caso de habilitar el modo "Forward-backward"

PPP

Recopilación de los datos necesarios

- Datos **RINEX** de las 4 estaciones de la Red GPS de Guipúzcoa: disponibles en la web del Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Diputación Foral de Guipúzcoa (<http://b5m.gipuzkoa.net/web5000/es/geodesia/red-gnss/>)
- Datos de **Órbitas precisas y relojes de los satélites**: efemérides proporcionadas por los Centros de Análisis del IGS (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/>)
- Datos de la **posición del Polo** para cada día: <http://maia.usno.navy.mil/ser7/finals2000A.all>
- Datos de las **variaciones de los centros de fase de las antenas**: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs.cb/station/general/igs08.atx>.

PPP

Parámetros básicos



PROCESAMIENTO PPP	PROCESAMIENTO MÉTODOS DIFERENCIALES
Intervalo de muestreo: 900s	Intervalo de muestreo: 30s
Atmósfera <ul style="list-style-type: none">• Ionosfera: casi eliminada con L3• Troposfera: modelada con NMF (random walk)	Atmósfera <ul style="list-style-type: none">• Ionosfera: casi eliminada con L3• Troposfera: modelada con NMF (estimada cada 2 horas)
Reloj del receptor: ruido blanco	Efemérides: precisas IGS
Procesamiento: forward- backward	Estaciones fijas: IGS (EBRE, BRUS, VILL, YEBE)
Sistema utilizado: sólo GPS	Sistema utilizado: sólo GPS
Correcciones adicionales <ul style="list-style-type: none">• Carga oceánica• Mareas terrestres• Etc.	Correcciones adicionales <ul style="list-style-type: none">• Carga oceánica• Mareas terrestres• Etc.
Precisión: aprox. 2cm en cada componente	Precisión: aprox. 1,5cm en cada componente
	Dobles diferencias: correladas

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

Estimación de Velocidades y Coordenadas con PPP



Para obtener los *resultados* mostrados se ha procedido de la siguiente forma:

- *Ajuste* de una recta a cada componente (X, Y, Z).
- *Eliminación* de residuales $> 1.5\text{cm}$ (valor absoluto)
- *Repetir* proceso hasta residuos $< 1.5\text{cm}$.

	X		Y		Z	
	$V_x(\text{m/a})$	σ_{vx}	$V_y(\text{m/a})$	σ_{vy}	$V_z(\text{m/a})$	σ_{vz}
ELGE	-0.0107	0.0006	0.0207	0.0004	0.0122	0.0005
IGEL	-0.0102	0.0008	0.0205	0.0006	0.0127	0.0007
LAZK	-0.0068	0.0007	0.0208	0.0005	0.0150	0.0006
PASA	-0.0114	0.0007	0.0198	0.0006	0.0110	0.0006

- Con las velocidades y constantes se han obtenido \rightarrow las coordenadas calculadas de las observaciones y las soluciones temporales

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

Transformación al sistema de coordenadas local (NEU)

Coordenadas cartesianas \rightarrow coordenadas geodésicas:

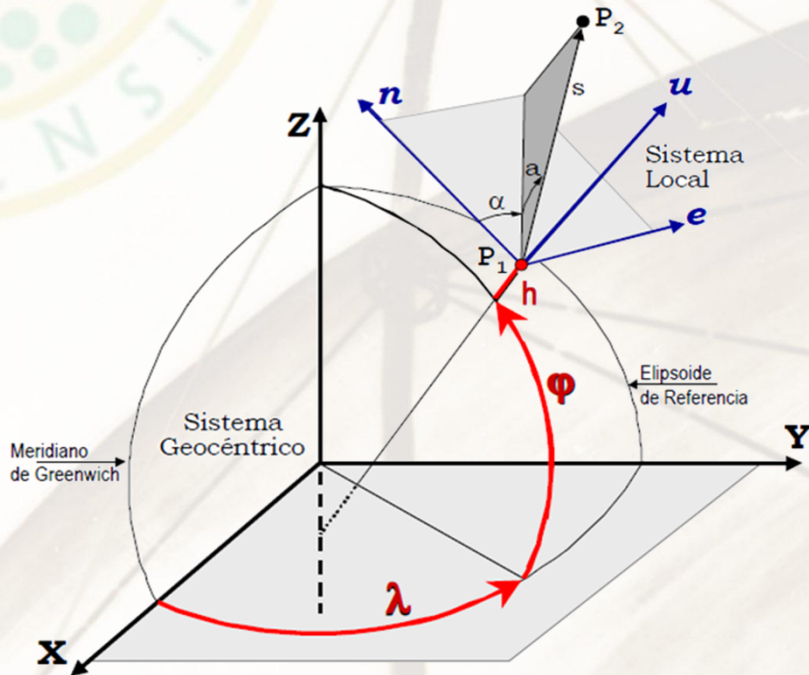
$$(X, Y, Z)_P \rightarrow (\varphi, \lambda, h)_P$$

$$\lambda = \arctg \frac{y}{x}$$

$$e_i = \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{\cos \varphi_i}} - N_i$$

$$N_i = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$\varphi_i = \arctg \left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \cdot \frac{N_{i-1} + h_{i-1}}{N_{i-1}(1 - e^2) + h_{i-1}} \right)$$



Transformación al sistema local:

$$R = Rz * Ry * Rx$$

$$R = \begin{bmatrix} -\text{sen } \varphi \cos \lambda & -\text{sen } \varphi \text{sen } \lambda & \cos \varphi \\ -\text{sen } \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \text{sen } \lambda & \text{sen } \varphi \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$



UNIVERSIDAD
DE JAÉN

CONTROL DE CALIDAD PPP: ESTACIONES IGS

Calculadas las coordenadas de 5 estaciones IGS durante 9 días en el Marco ITRF2005, época 2007.5.

¿Resultado?

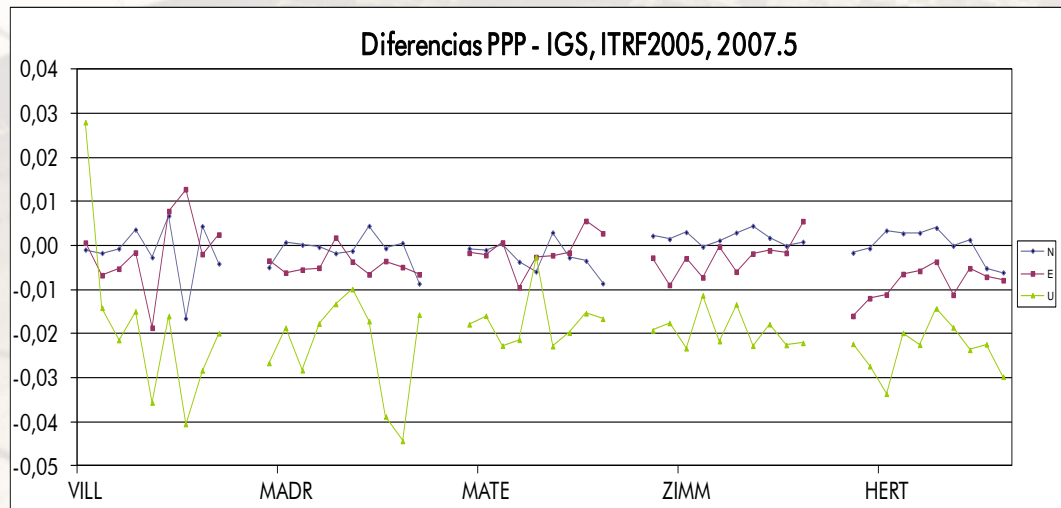
	N (m)	E (m)	U (m)
Media	-0.0006	-0.0038	-0.0203
Desv. Est.	0.0041	0.0056	0.0106
Mínimo	-0.0165	-0.0187	-0.0444
Máximo	0.0067	0.0127	0.0280



Diferencias siempre inferiores a 2cm en planimetría e inferiores a 5cm (en torno a 2 cm) en altimetría



Por tanto y contrastadas con otros autores se dan por buenas las soluciones, aunque se ve un sesgo en la componente U.

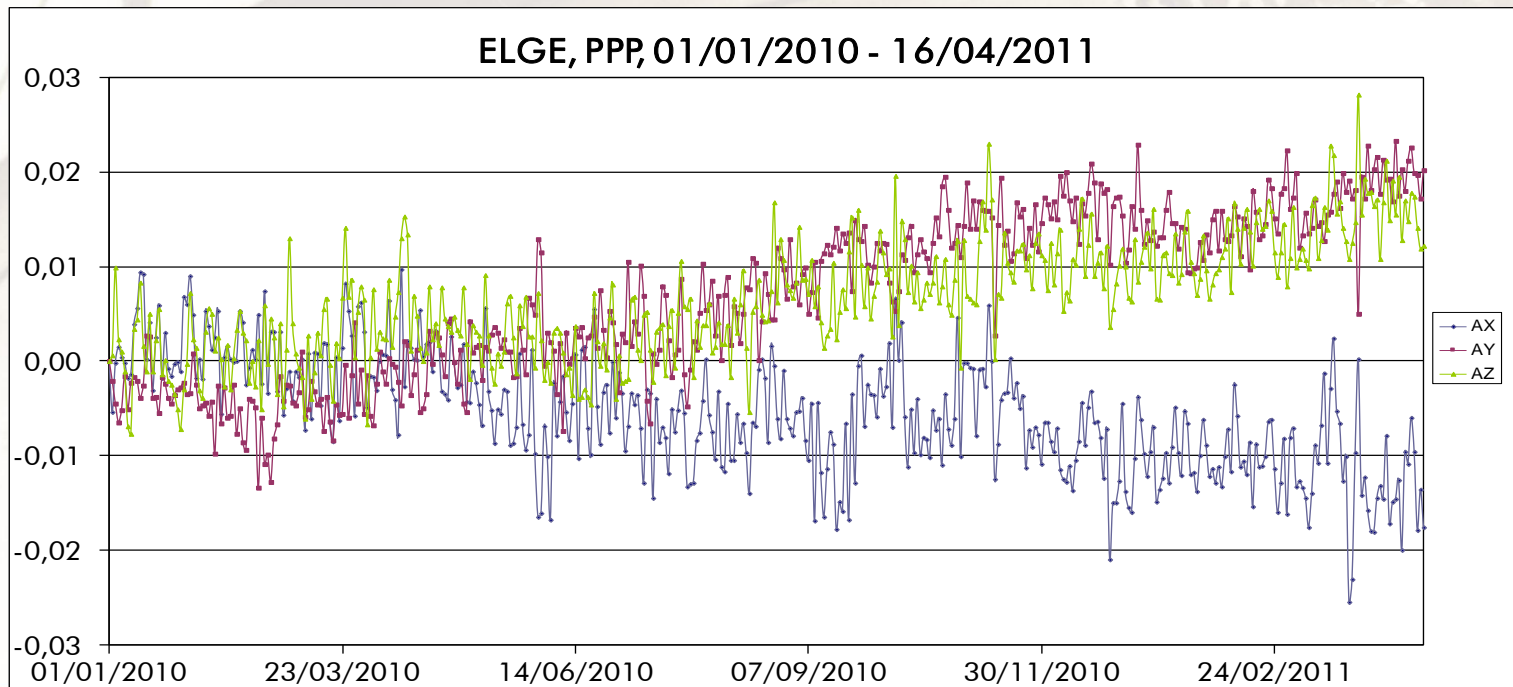


ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

Estimación de Velocidades y Coordenadas con PPP



	X		Y		Z	
	V_x (m/a)	σ_{v_x}	V_y (m/a)	σ_{v_y}	V_z (m/a)	σ_{v_z}
ELGE	-0.0107	0.0006	0.0207	0.0004	0.0122	0.0005
IGEL	-0.0102	0.0008	0.0205	0.0006	0.0127	0.0007
LAZK	-0.0068	0.0007	0.0208	0.0005	0.0150	0.0006
PASA	-0.0114	0.0007	0.0198	0.0006	0.0110	0.0006



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

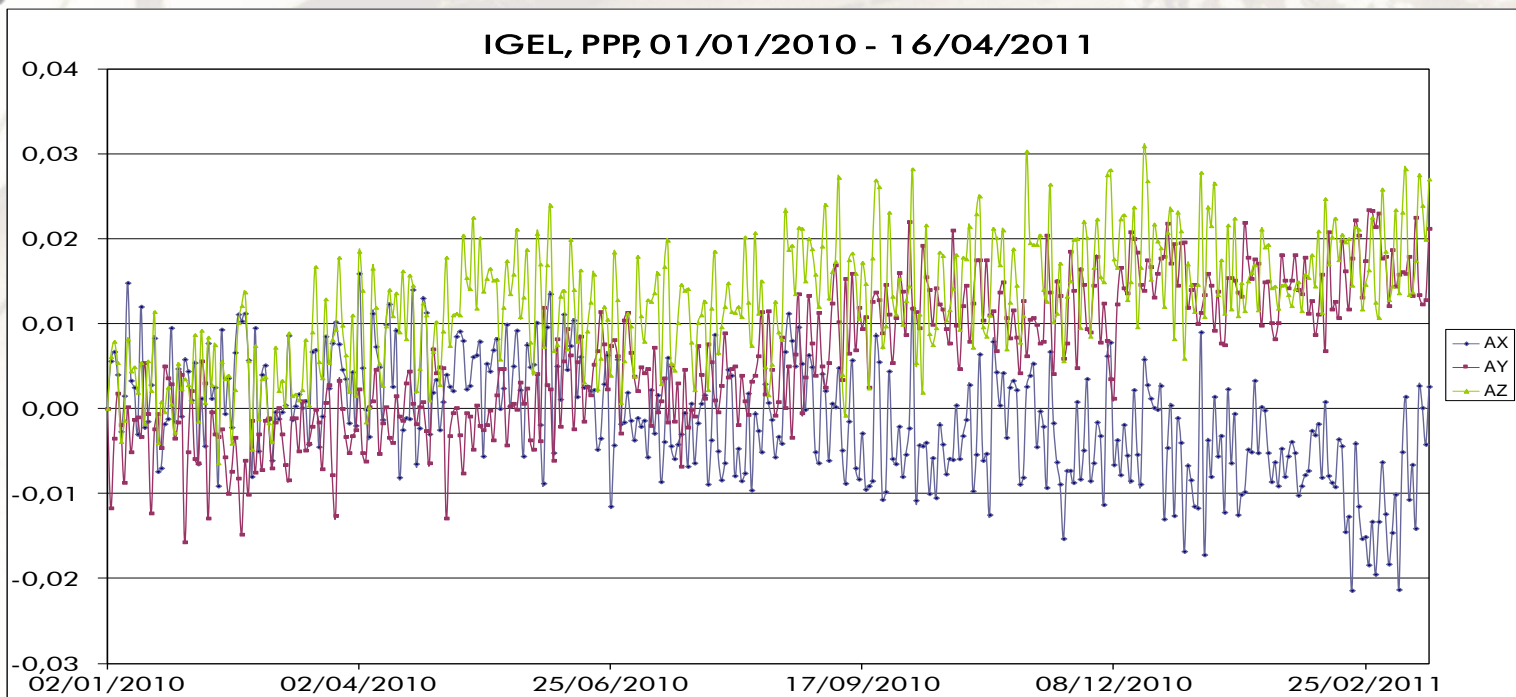
Estimación de Velocidades y Coordenadas con PPP



UNIVERSIDAD
DE JAÉN



	X		Y		Z	
	V_x (m/a)	σ_{vx}	V_y (m/a)	σ_{vy}	V_z (m/a)	σ_{vz}
ELGE	-0.0107	0.0006	0.0207	0.0004	0.0122	0.0005
IGEL	-0.0102	0.0008	0.0205	0.0006	0.0127	0.0007
LAZK	-0.0068	0.0007	0.0208	0.0005	0.0150	0.0006
PASA	-0.0114	0.0007	0.0198	0.0006	0.0110	0.0006



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

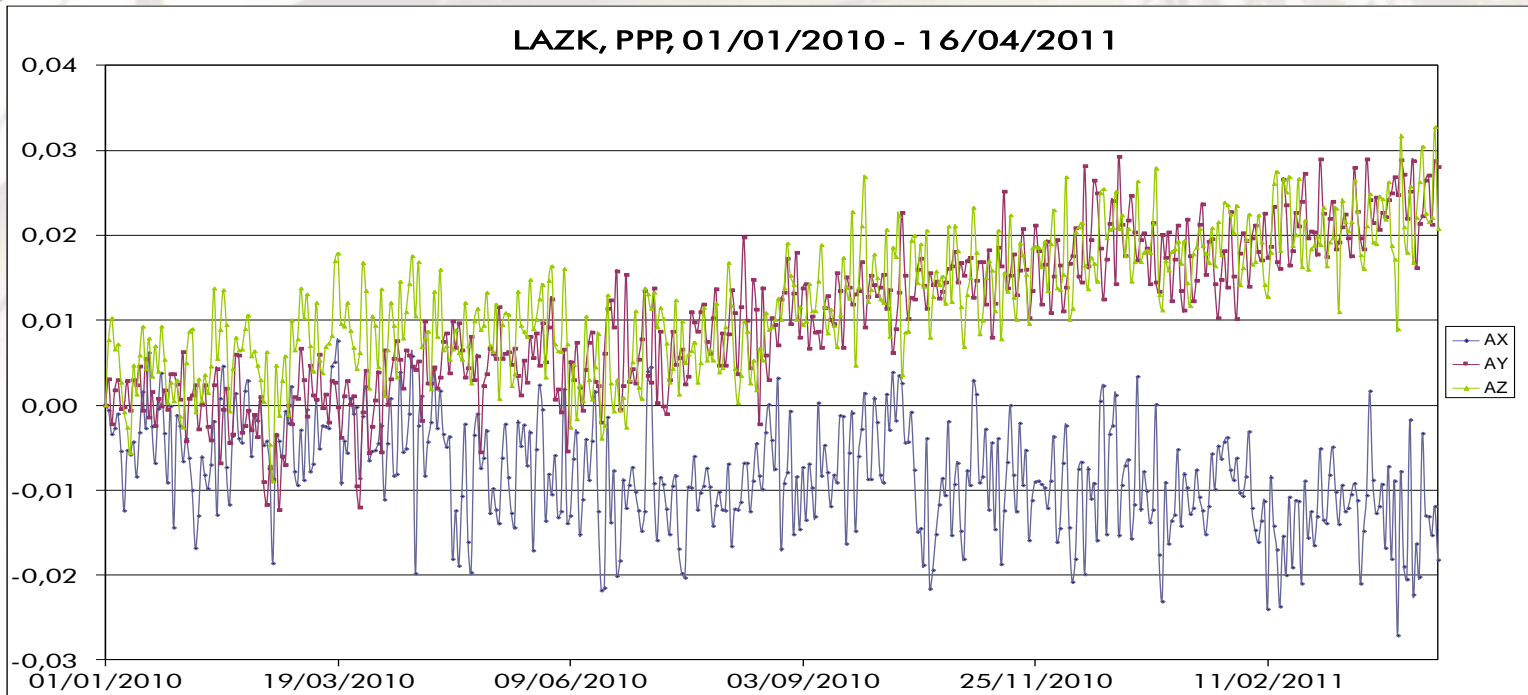
Estimación de Velocidades y Coordenadas con PPP



UNIVERSIDAD DE JAÉN



	X		Y		Z	
	V_x (m/a)	σ_{vx}	V_y (m/a)	σ_{vy}	V_z (m/a)	σ_{vz}
ELGE	-0.0107	0.0006	0.0207	0.0004	0.0122	0.0005
IGEL	-0.0102	0.0008	0.0205	0.0006	0.0127	0.0007
LAZK	-0.0068	0.0007	0.0208	0.0005	0.0150	0.0006
PASA	-0.0114	0.0007	0.0198	0.0006	0.0110	0.0006

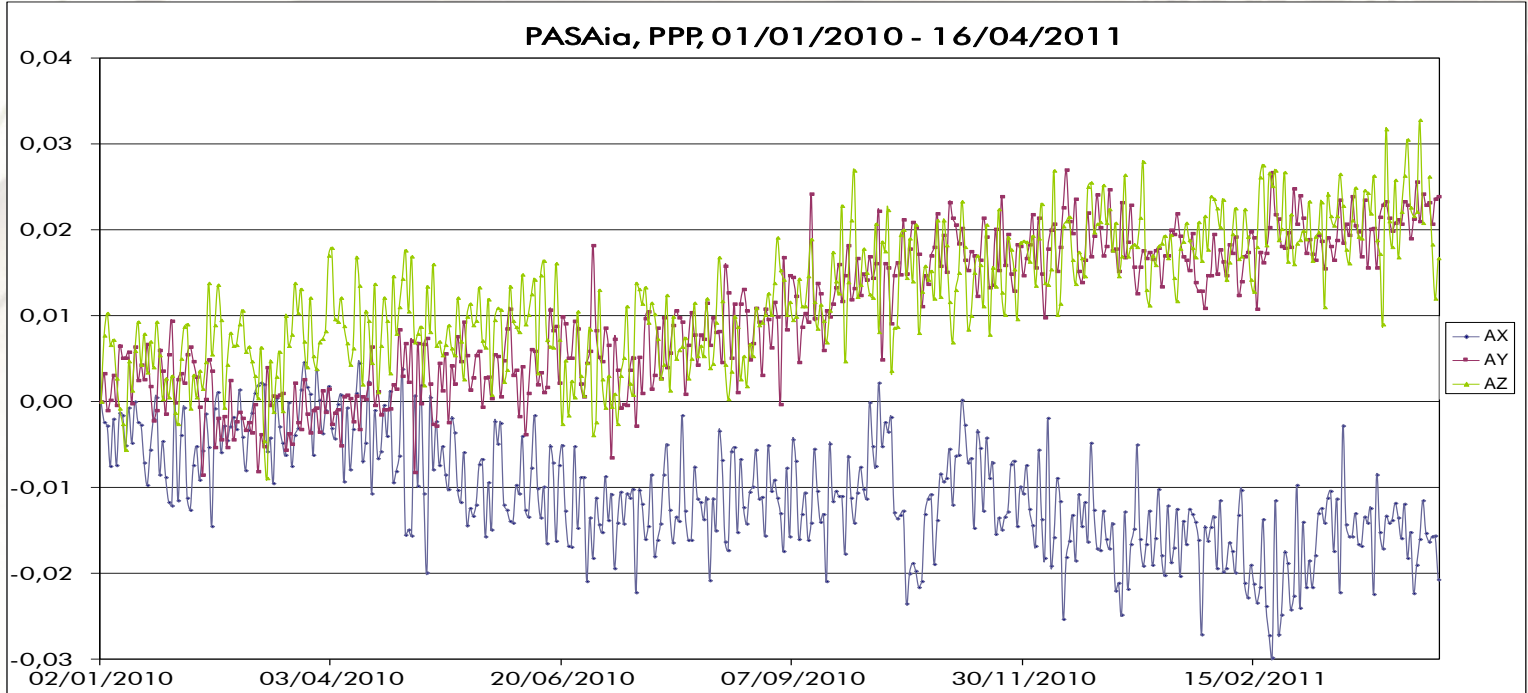


ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

Estimación de Velocidades y Coordenadas con PPP



	X		Y		Z	
	V_x (m/a)	σ_{vx}	V_y (m/a)	σ_{vy}	V_z (m/a)	σ_{vz}
ELGE	-0.0107	0.0006	0.0207	0.0004	0.0122	0.0005
IGEL	-0.0102	0.0008	0.0205	0.0006	0.0127	0.0007
LAZK	-0.0068	0.0007	0.0208	0.0005	0.0150	0.0006
PASA	-0.0114	0.0007	0.0198	0.0006	0.0110	0.0006



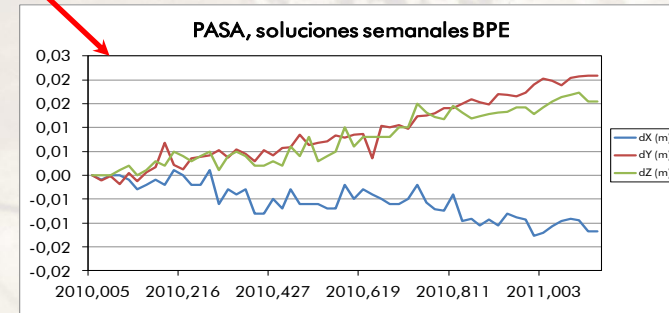
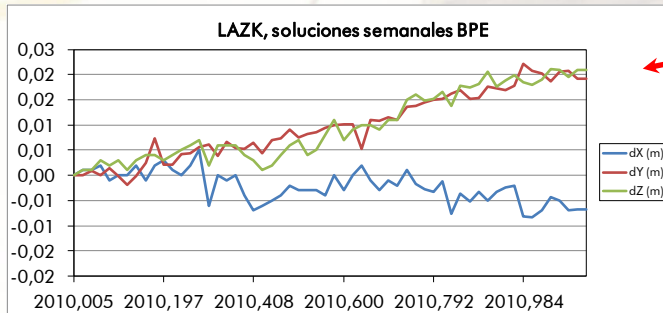
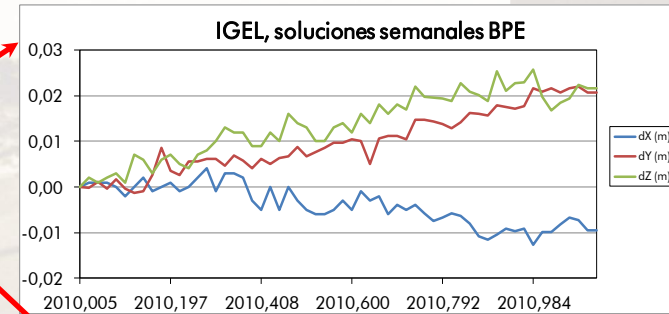
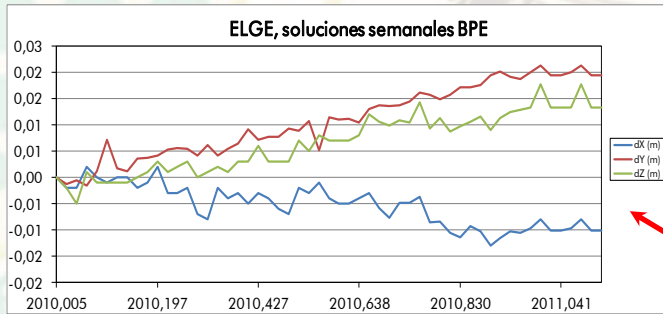
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

Comparativa con soluciones en modo diferencial (Bernese 5.0)



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Datos con las mismas épocas que PPP



Velocidades BPE 2010/01/01 a 2011/04/16

	X		Y		Z	
	V_x (m/a)	σ_{vx}	V_y (m/a)	σ_{vy}	V_z (m/a)	σ_{vz}
ELGE	-0,01	0,0008	0,0201	0,0006	0,0161	0,0007
IGEL	-0,0114	0,0009	0,02	0,0007	0,0201	0,001
LAZK	-0,0063	0,0009	0,0198	0,0006	0,0197	0,0009
PASA	-0,0097	0,0008	0,0201	0,0007	0,0157	0,0007

iiiPPP: ver las similitudes, salvo en la componente Z!!!

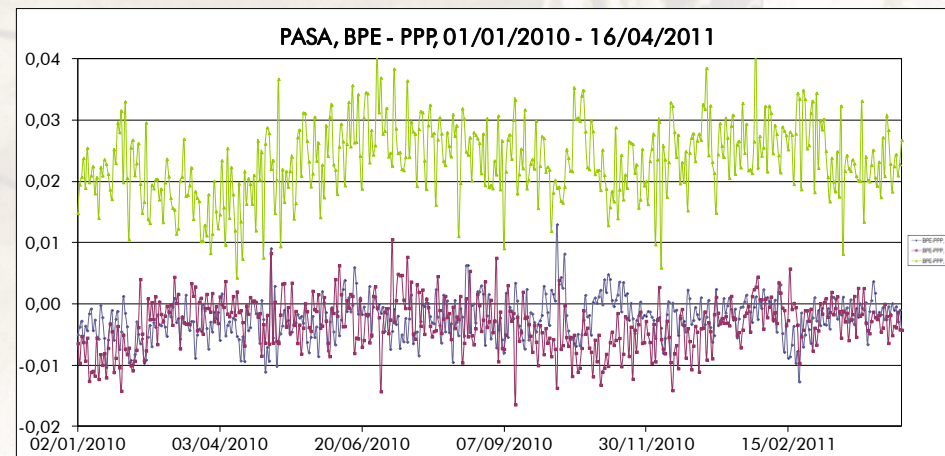
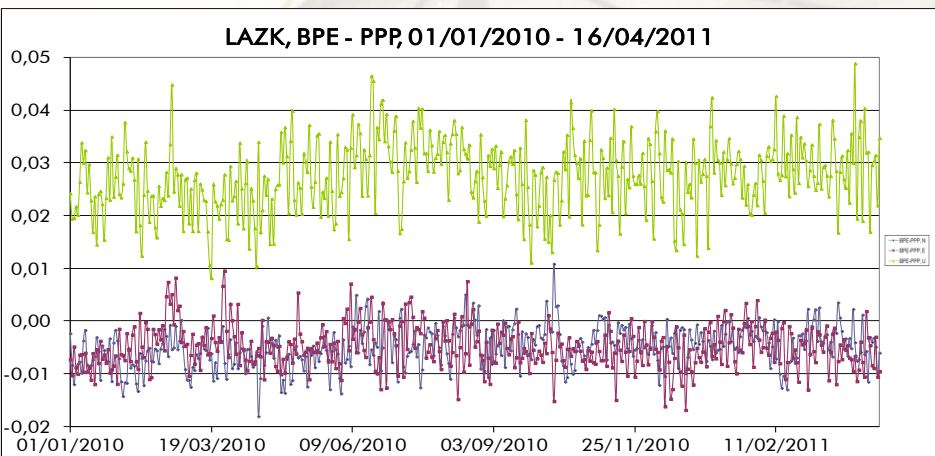
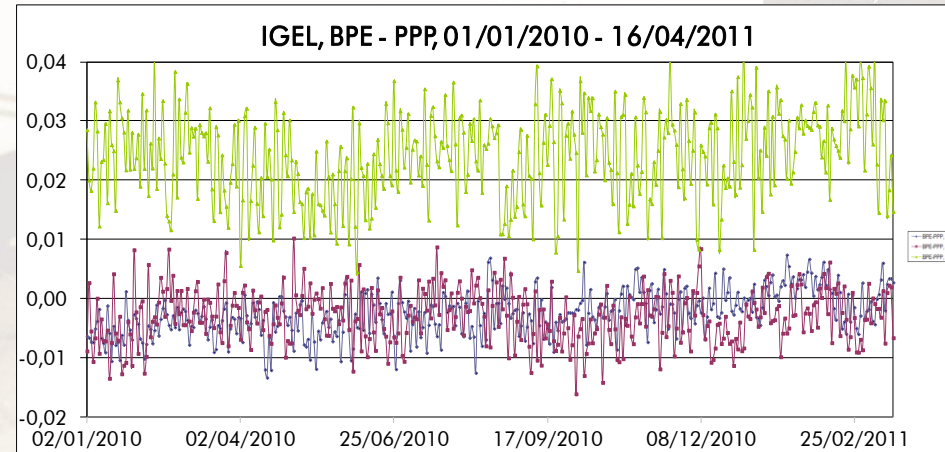
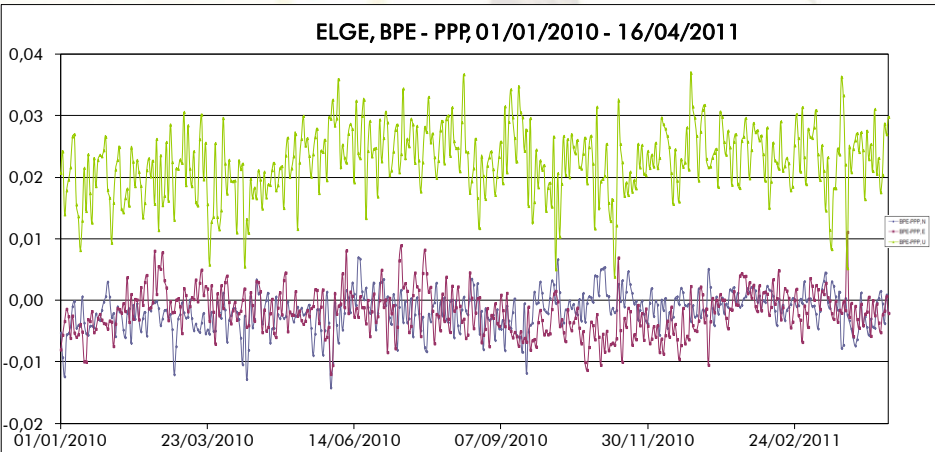
	X		Y		Z	
	V_x (m/a)	σ_{vx}	V_y (m/a)	σ_{vy}	V_z (m/a)	σ_{vz}
ELGE	-0.0107	0.0006	0.0207	0.0004	0.0122	0.0005
IGEL	-0.0102	0.0008	0.0205	0.0006	0.0127	0.0007
LAZK	-0.0068	0.0007	0.0208	0.0005	0.0150	0.0006
PASA	-0.0114	0.0007	0.0198	0.0006	0.0110	0.0006

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SOLUCIONES

Comparativa con soluciones en modo diferencial (Bernese 5.0)



UNIVERSIDAD

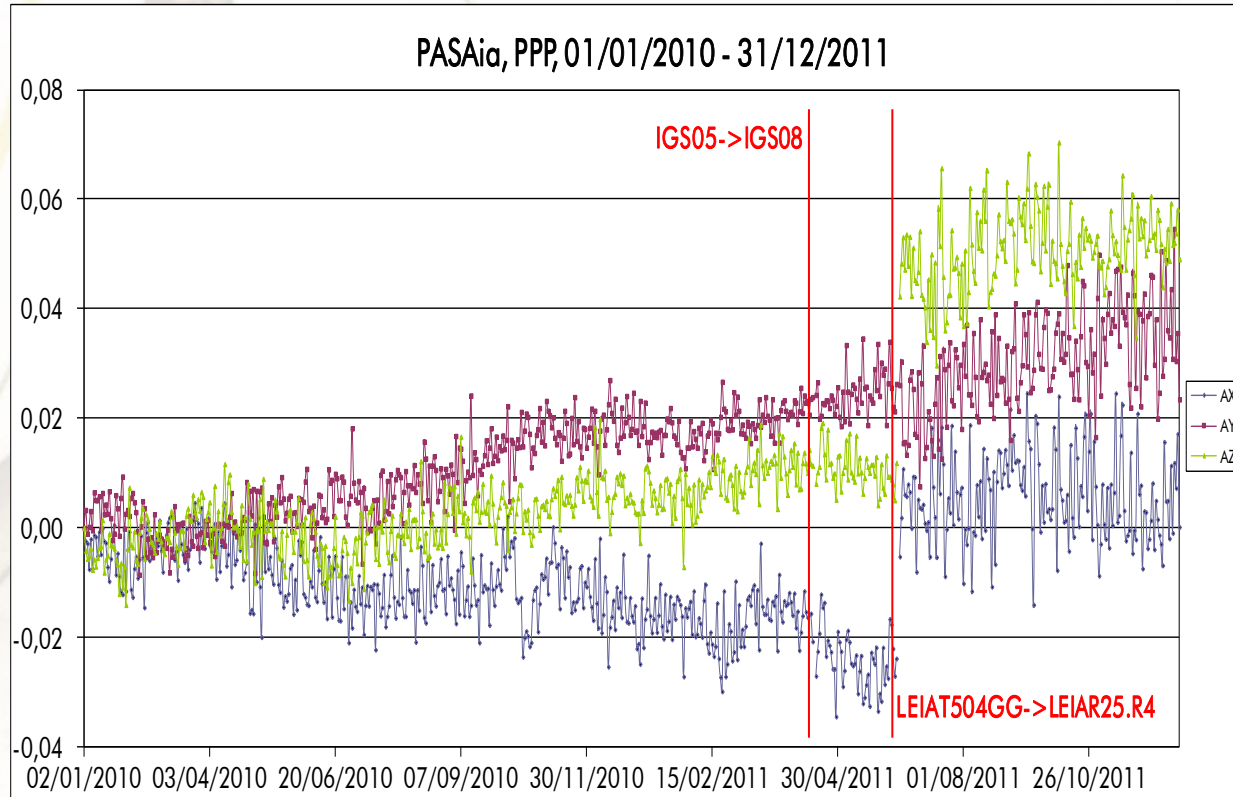


SENSIBILIDAD DEL PPP

Impacto del cambio de Datum y antena en las soluciones PPP



UNIVERSIDAD
DE JAÉN.



CAMBIOS:

- 17 de Abril de 2011 (Cambio de Marco: IGS05->IGS08),
- 6 de Junio de 2011 (Cambio de antena: LEIAT504GG LEIS -> LEIAR25.R4 LEIT)

SENSIBILIDAD DEL PPP

Análisis de los resultados

- Los **resultados** obtenidos para las **coordenadas** son muy buenos mientras que para las **velocidades** son buenos, salvo para la componente cartesiana Z.
- Los **sesgos** en las **coordenadas** pueden deberse al modelado *troposférico*, a la determinación de los *relojes* de los receptores y a la utilización del *código C1* (los nuevos modelos mejorarán las precisiones).
- Si se analizan las **componentes**: las *diferencias máximas* se dan en las altitudes de los puntos; en *velocidades* es IGEL en la que mayor diferencia se halla; en *cartesianas* las mayores discrepancias son en Z, mientras XY son milimétricas.
- Es previsible que con un mayor **intervalo de tiempo** los resultados sean más coherentes, puesto que sólo se ha utilizado para el estudio un año.



UNIVERSIDAD
DE JAÉN.

CONCLUSIONES



- Según los resultados, se han **cumplido los objetivos** marcados para este **PFC** permitiendo una introducción en el campo del posicionamiento absoluto evaluando la precisión y potencial de la metodología **PPP**.
- Respecto al **análisis de las velocidades**, los resultados **no** pueden ser considerados como **definitivos**, ya que sólo se han utilizado datos de un año. No obstante, el método estudiado da **buenos resultados para las coordenadas** en las componentes planimétricas, mientras que la altimétrica es una buena solución, pero con sesgo.
- Señalar que el **PPP plantea la mejora de modelo de posicionamiento absoluto** en el campo de la georreferenciación permitiendo realizar de forma más ágil y efectiva el cálculo, la productividad y la precisión.

Análisis de soluciones GPS mediante PPP en la determinación de series temporales



Gracias por su atención