

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN**  
**TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA**  
**TITULACIÓN DE GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y**  
**TOPOGRAFÍA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**COMPARATIVA DE DIFERENTES TIPOS DE EFEMÉRIDES**  
**GNSS EN CÁLCULO DE GRANDES LÍNEAS BASE CON MAGNET**  
**OFFICE**

**Madrid, enero, 2016**

*Alumno: Guillermo Pou Peña*

*Tutor: Juan Francisco Prieto Morín*



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN**  
**TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA**  
**TITULACIÓN DE GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y**  
**TOPOGRAFÍA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**COMPARATIVA DE DIFERENTES TIPOS DE EFEMÉRIDES GNSS**  
**EN CÁLCULO DE GRANDES LÍNEAS BASE CON MAGNET OFFICE**



**Madrid, enero, 2016**

*Alumno: Guillermo Pou Peña*

*Tutor: Juan Francisco Prieto Morín*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS.....	13
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS GNSS Y LAS EFEMÉRIDES .....</b>	<b>15</b>
2.1	BREVE DESCRIPCIÓN GNSS.....	15
2.1.1	<i>GPS</i> .....	15
2.1.2	<i>GLONASS</i> .....	16
2.2	TIPOS DE EFEMÉRIDES.....	17
2.2.1	<i>Efemérides transmitidas</i> .....	17
2.2.2	<i>Efemérides ultrarrápidas, previstas</i> .....	18
2.2.3	<i>Efemérides ultrarrápidas, observadas</i> .....	18
2.2.4	<i>Efemérides ultrarrápidas, combinadas</i> .....	18
2.2.5	<i>Efemérides rápidas</i> .....	19
2.2.6	<i>Efemérides finales</i> .....	19
2.3	PRINCIPALES INSTITUCIONES QUE DIFUNDEN Y CALCULAN EFEMÉRIDES ....	20
2.3.1	<i>International GNSS Service (IGS)</i> .....	20
2.3.1.1	Centros operacionales.....	21
2.3.1.2	Centros regionales.....	21
2.3.1.3	Centros globales.....	21
2.3.2	<i>Center for Orbit Determination in Europe (CODE)</i> .....	22
2.3.3	<i>Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI)</i> .....	22
2.3.4	<i>Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS)</i> .....	22
2.3.5	<i>Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)</i> .....	23
2.3.6	<i>Institut National de l'Information Geographique et Forestière (IGN)</i> .....	23
2.3.7	<i>Australian Government Geoscience Australia (AUSLIG)</i> .....	24
2.3.8	<i>GNSS Data Center (GDC)</i> .....	24
2.3.9	<i>Hartebeesthoek Radio Astronomy Observatory (HRAO)</i> .....	24
2.3.10	<i>Mission Control Centre (MCC)</i> .....	25
2.3.11	<i>Nomenclatura de los archivos de efemérides</i> .....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
3.1	ELECCIÓN DE LÍNEAS BASE.....	27
3.2	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	32
3.3	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE MAGNET OFFICE TOOLS.....	33
3.4	CRITERIOS DE CÁLCULO ELEGIDOS.....	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	DETECCIÓN DE VALORES ATÍPICOS.....	37
4.2	PLANIMETRÍA.....	39

4.2.1	<i>Efemérides transmitidas GLONASS</i> .....	39
4.2.2	<i>Efemérides transmitidas GPS</i> .....	40
4.2.3	<i>Efemérides transmitidas GPS + GLONASS</i> .....	41
4.2.4	<i>Efemérides ultrarrápidas (IGU)</i> .....	42
4.2.5	<i>Efemérides ultrarrápidas IGV sólo GPS</i> .....	43
4.2.6	<i>Efemérides ultrarrápidas IGV GPS + GLONASS</i> .....	44
4.2.7	<i>Efemérides rápidas (IGR)</i> .....	45
4.2.8	<i>Efemérides del Jet Propulsion Laboratory</i> .....	46
4.2.9	<i>Efemérides finales (IGS)</i> .....	47
4.3	<b>ALTIMETRÍA</b> .....	49
4.3.1	<i>Efemérides transmitidas GLONASS</i> .....	49
4.3.2	<i>Efemérides transmitidas GPS</i> .....	50
4.3.3	<i>Efemérides transmitidas GPS + GLONASS</i> .....	51
4.3.4	<i>Efemérides ultrarrápidas (IGU)</i> .....	52
4.3.5	<i>Efemérides ultrarrápidas IGV sólo GPS</i> .....	53
4.3.6	<i>Efemérides ultrarrápidas IGV GPS y GLONASS</i> .....	54
4.3.7	<i>Efemérides rápidas (IGR)</i> .....	55
4.3.8	<i>Efemérides del Jet Propulsion Laboratory</i> .....	56
4.3.9	<i>Efemérides finales (IGS)</i> .....	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Detalle del panel de retrorreflectores en una réplica de un satélite GLONASS.</i>	16
<i>Figura 3.1 Distribución de las estaciones y las líneas base.</i>	27
<i>Figura 3.2 Reseña de la estación permanente IGNE.</i>	28
<i>Figura 3.3 Reseña de la estación permanente TARI.</i>	29
<i>Figura 3.4 Reseña de la estación permanente GIRO.</i>	30
<i>Figura 3.5 Reseña de la estación permanente HENA.</i>	31
<i>Figura 3.6 Disposición de los husos 29, 30 y 31 de la proyección UTM.</i>	34
<i>Figura 4.1 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides rápidas de la constelación Navstar en sesiones de 3 horas. Se muestran sólo 11 puntos, tras haber eliminado 1 en la primera iteración. En las siguientes iteraciones desaparecen el resto de puntos por superar la incertidumbre máxima que es inferior a 1cm.</i>	38
<i>Figura 4.2 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación Navstar en sesiones de 3 horas. Se muestran sólo 9 puntos, tras haber eliminado 1 en la primera iteración. Los otros dos puntos no los pudo calcular el software.</i>	38
<i>Figura 4.3 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE-HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.</i>	39
<i>Figura 4.4 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE-HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.</i>	40
<i>Figura 4.5 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de las constelaciones GPS y GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de las distancia IGNE - HENA y GIRO - TARI no se representan por superar la incertidumbre máxima.</i>	41
<i>Figura 4.6 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul la de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 1 hora de las distancia IGNE-HENA e IGNE – TARI no se representan por superar la incertidumbre máxima.</i>	42
<i>Figura 4.7 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. Para este cálculo sólo se han utilizado satélites GPS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.</i>	43
<i>Figura 4.8 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3</i>	

- horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima. 44
- Figura 4.9 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides rápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima. 45
- Figura 4.10 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 46
- Figura 4.11 Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides finales de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 1 hora de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima. 47
- Figura 4.12 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 49
- Figura 4.13 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 50
- Figura 4.14 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de las constelaciones GPS y GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de la sesión de 3 h de la distancia IGNE - HENA no se aprecian en el gráfico por ser inferiores a 5 cm. 51
- Figura 4.15 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul la de 1 hora. 52
- Figura 4.16 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. Para este cálculo sólo se han utilizado satélites GPS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 53
- Figura 4.17 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 54
- Figura 4.18 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides rápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 55
- Figura 4.19 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 56
- Figura 4.20 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides finales de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 57
- Figura 5.2 Comparación altimétrica entre la incertidumbre estándar de cada efeméride con el tiempo que tarda ese tipo de efeméride en estar disponible. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. 60

## *ÍNDICE DE TABLAS*

<i>Tabla 2.1 Los tres primeros caracteres del nombre del archivo de las efemérides indican la entidad que los ha generado.</i>	25
<i>Tabla 3.1 Velocidades de estaciones permanentes GNSS.</i>	32
<i>Tabla 3.2 Sección de la hoja de cálculo encargada de generar enlaces para descargar efemérides.</i>	33



## *ACRÓNIMOS*

AIUB	Astronomical Institute of the University of Bern.
AUSLIG	Australian Government Geoscience Australia.
BDS	BeiDou Navigation Satellite System.
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. - Federal Agency for Cartography and Geodesy.
BPE	Bernese Processing Engine.
CAM	Comunidad Autónoma de Madrid.
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System.
CDP	Crustal Dynamics Project.
CODE	Center for Orbit Determination in Europe.
CRTN	California Real Time Network.
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite.
ERGNSS	Red de Estaciones de Referencia GNSS.
ESA	European Space Agency.
GFZ	Geo Forschungs Zentrum. - Research Centre for Geosciences.
GLONASS	GLObal NAVigation Satellite System.
GNSS	Global Navigation Satellite System.
GPS	Global Positioning System.
GRGS	Space Geodesy Research Group.
GSI	Global Space Institute.
HRAO	Hartebeesthoek Radio Astronomy Observatory.
IAC	Information Analytical Centre.
IDS	International DORIS Service.
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGN	Institut National de l'Information Géographique et Forestière.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
IGS	International GNSS Service.
ILRS	International Laser Ranging Service.
ITRF	International Terrestrial Reference Frame.
IVS	International VLBI Service for Geodesy and Astrometry.
JPL	Jet Propulsion Laboratory.
KASI	Korea Astronomy and Space Science Institute.
LLR	Lunar Laser Ranging.
MCC	Mission Control Centre.
MIT	Massachusetts Institute of Technology.
NASA	National Aeronautics and Space Administration.
NCL	Newcastle University London.
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency.
NGS	National Geodetic Survey.
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration.
NRCan	Natural Resources Canada.
NRLMSISE	Naval Research Laboratory Mass Spectrometer and Incoherent Scatter Radar Exosphere.

RINEX	Receiver INdependent Exchange.
SA	Selective Availability.
SIO	Scripps Institution of Oceanography.
SLR	Satellite Laser Ranging.
UNOOSA	Office for Outer Space Affairs
UTC	Universal Time Coordinate.
UTM	Universal Transverse Mercator.
VLBI	Very Long Baseline Interferometry.
WGS	World Geodetic System.
WHU	Wuhan University.

# **1 INTRODUCCIÓN**

## **1.1 OBJETIVOS**

Para cualquier tipo de posicionamiento con técnicas GNSS es imprescindible conocer las coordenadas de los satélites. Estas coordenadas figuran en las efemérides GNSS y se pueden obtener de distintas fuentes.

Los centros del IGS publican las precisiones de la posición y del reloj del satélite para cada tipo de efeméride. Sin embargo, esa información no es suficiente para determinar la precisión a posteriori de un punto medido con técnicas GNSS.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es hallar la influencia de cada tipo de efeméride en la precisión a posteriori de las coordenadas de un punto de la línea base. Para ello, se plantea una comparativa entre líneas base en función de la longitud, la duración de la sesión, la constelación y el tipo de efemérides. Todo ello, eligiendo puntos de control en la Península Ibérica y contrastando las soluciones sobre el marco de referencia ETRS89.

No se pretende buscar la máxima precisión en cada línea base, sino tratar de emular las características de un uso común del GNSS en topografía y geodesia. En la comparativa se plantean situaciones al límite con sesiones de observación de poca duración y con distancias muy largas. Los tiempos de observación son inferiores a los recomendados en libros y manuales, para así evitar que la redundancia enmascare la verdadera precisión de las efemérides y llevar al límite de lo posible este test.



## 2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS GNSS Y LAS EFEMÉRIDES

### 2.1 BREVE DESCRIPCIÓN GNSS

Existen multitud de sistemas de posicionamiento global, pero para este trabajo únicamente se han escogido dos, GPS y GLONASS. Esta elección viene motivada por el hecho de que estos dos sistemas son soportados por la mayoría de receptores utilizados hoy en día en el campo de la topografía. Además, por el momento, son los dos únicos sistemas con cobertura mundial cuyas efemérides están publicadas en el IGS.

#### 2.1.1 GPS

Las coordenadas del sistema GPS están referidas al sistema de referencia World Geodetic System 1984 (WGS84), que es una evolución de los anteriores sistemas WGS 60, WGS 66 y WGS 72. WGS84 es sistema ortogonal dextrógiro fijo a la Tierra definido por:

Origen: centro de masas de la Tierra incluyendo hidrosfera y atmósfera.

Escala: es la del marco local de la Tierra en el contexto de la teoría de la relatividad de la gravitación.

Orientación: coincide con la orientación del Bureau International de l'Heure en la época 1984.0

Componentes del sistema cartesiano:

Origen: centro de masas terrestre.

Eje Z: dirección del Polo de Referencia IERS.

Eje X: intersección del meridiano de referencia IERS con el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z.

Eje Y: junto con X y Z completa un sistema ortogonal dextrógiro.

Los parámetros del elipsoide global WGS84 asociado al sistema de referencia WGS84 son:

Semieje mayor:  $a = 6\,378\,137$  m.

Semieje menor:  $b = 6\,356\,752.314\,245\,18$  m.

Aplanamiento:  $f = 1/298.257\,223\,563$ .

Excentricidad:  $e = 0.081\,819\,190\,84$ .

Velocidad angular de rotación terrestre:  $W_e = 7.292\,115\,146\,7 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ .

Constante gravitacional geocéntrica:  $GM = 3.986\,004\,418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ .

Coficiente Zonal Gravitacional de segundo grado normalizado:

$\overline{C_{2,0}} = -0.484\,166\,774\,985 \times 10^{-3}$ .

El marco de referencia utilizado actualmente por Navstar es el WGS84 (G1762), en el que la G significa GPS y 1762 es la semana GPS que corresponde a los días 13-19 de octubre de 2013. Esta actualización de WGS84 coincide exactamente con el marco de referencia ITRF2008 calculado por el IERS.

### 2.1.2 GLONASS

El sistema GLONASS se apoya en el sistema de referencia Parametry Zemli 1990 (PZ-90) que es el sucesor de SGS-85. El origen, la escala, la orientación y los componentes del sistema cartesiano de este sistema son idénticos a los de WGS-84.

A continuación se detallan los parámetros del elipsoide global PZ-90 asociado al sistema PZ-90:

Semieje mayor:  $a = 637\,813\,6\text{ m}$ .

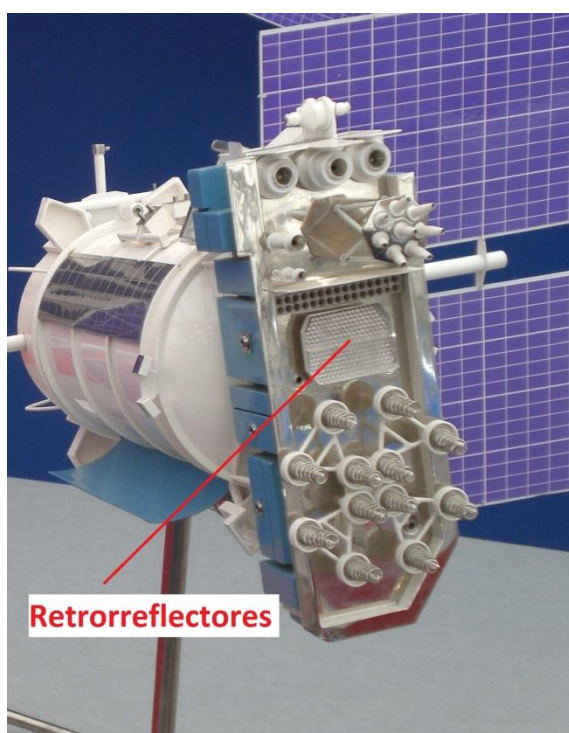
Aplanamiento:  $f = 1/298.257\,839\,303$ .

Velocidad angular de rotación terrestre:  $W_e = 7.292\,115 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ .

Constante gravitacional geocéntrica:  $GM = 3.986\,004\,4 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ .

Desde el 15 de enero de 2014 el marco actual de este sistema de referencia es el PZ-90.11 que reemplaza al anterior PZ-90.02. Las diferencias entre este marco y el ITRF2008 son despreciables para este proyecto.

Muchos satélites que están hoy en día en uso o lo estarán pronto, cuentan con retroreflectores láser, lo que permite que puedan ser monitorizados con SLR. Gracias a esto, se puede proporcionar una mejor información sobre la órbita de los satélites, mejorando las efemérides o corrigiendo la trayectoria. Todos los satélites GLONASS están equipados con estos retroreflectores. Hasta ahora sólo 2 satélites de la constelación Navstar los han tenido, mientras que la totalidad de los satélites de Galileo y BDS equipan retroreflectores de este tipo. Los sistemas QZSS y IRNSS aún no cuentan con retroreflectores laser, pero en un futuro próximo sí los tendrán ya que el ILRS respalda esta iniciativa.



*Figura 2.1* Detalle del panel de retroreflectores en una réplica de un satélite GLONASS.

---

## 2.2 TIPOS DE EFEMÉRIDES

Para calcular la posición de un punto de la superficie terrestre es necesario conocer las coordenadas de los satélites a los que se esté observando. Existen distintas maneras de obtener las coordenadas de esos satélites. Cuanto más precisas se requiere que sean las coordenadas de los satélites, más tiempo habrá que esperar.

### 2.2.1 Efemérides transmitidas

También conocidas como Radiodifundidas o “Broadcast ephemeris”, consisten en un conjunto de entre 16 y 20 elementos que definen la trayectoria elipsoidal de cada satélite. Éstos las envían en el Bloque 2 del mensaje de navegación. Las efemérides transmitidas sólo son capaces de posicionar al satélite que las envía. Sin embargo, en el mensaje de navegación aparte de incluir información sobre el estado de los satélites, sincronización de tiempos o retardos atmosféricos, se suministra un almanaque que permite posicionar toda la constelación aunque sólo sea descargado de un satélite. El almanaque se actualiza cada 6 meses, por lo que la precisión es tan baja que únicamente permite dar a conocer al receptor de manera aproximada dónde está cada satélite aunque no haya visión directa.

A partir de esta información el receptor calcula la posición del satélite en un instante determinado.

Las órbitas de los satélites tienen una precisión de 1 m y los relojes de los satélites 5 nanosegundos. Estas efemérides son unas de las menos precisas y no se utilizan en topografía, sin embargo, son las más utilizadas en otros trabajos debido a que son las únicas que pueden obtenerse desde el satélite en tiempo real. La baja precisión, junto a la escasa fiabilidad de las efemérides transmitidas es lo que las convierte en poco útiles para la Geomática. Aunque en mayo de 2001 se desactivó la disponibilidad selectiva (SA) cuyo fin era empeorar intencionadamente la precisión de las efemérides transmitidas, no hay garantía de que se pueda volver a implantar sin previo aviso.

Como se ha comentado, las efemérides transmitidas GLONASS desde el 15 de enero de 2014 se refieren al marco PZ-90.11, mientras que las efemérides GPS lo hacen al marco WGS84 (G1762).

El segmento de control es el encargado de calcular las efemérides transmitidas y de enviárselas a los satélites a través de las antenas terrestres de subida. Todos los demás tipos de efemérides son calculadas por el segmento terrestre de seguimiento independiente, que no define la posición de los satélites por los parámetros de sus órbitas, sino por las coordenadas de éstos en instantes determinados.

Ejemplo:

- IGNE0460.15N

**IGNE**      4 caracteres que identifican la estación.

---

**046** Día del año (001 a 366).

**0** Hora del día. 0 significa que abarca todo el día.

**\*.15N** Año 2015, Navstar. **(15G** Año 2015, GLONASS.)

### 2.2.2 Efemérides ultrarrápidas, previstas

El IGS las emite en tiempo real y se actualizan a las 03, 09, 15 y 21 h UTC. Las precisiones varían en función de la antelación con la que se publican las efemérides, llegando a alcanzar las órbitas de los satélites 5 cm y los relojes de los satélites 3 nanosegundos.

Ejemplos:

- COD18320.EPH\_5D  
**COD** CODE, GPS + GLONASS  
**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980  
**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2, ..., viernes = 5 y sábado = 6)  
**\*.EPH\_5D** Abarca 5 días. Desde las 00.00 h del día 0 de la semana 1832 hasta las 23.45 h de 4 días después.
- COD18320.EPH\_p  
**COD** CODE, GPS + GLONASS  
**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980  
**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2, ..., viernes = 5 y sábado = 6)  
**\*.EPH\_P** Abarca 24 h. Desde las 00.00 h hasta las 23.45 h. Previsto con 24 h de antelación.
- COD18320.EPH\_P2  
**COD** CODE, GPS + GLONASS  
**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980  
**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2, ..., viernes = 5 y sábado = 6)  
**\*.EPH\_P2** Abarca 24 h. Desde las 00.00 h hasta las 23.45 h. Previsto con 48 h de antelación.

### 2.2.3 Efemérides ultrarrápidas, observadas

Publicadas por el IGS entre 3 y 9 horas después del tiempo de estudio, actualizándose a las 03, 09, 15 y 21 h UTC. Las órbitas de los satélites tienen una precisión de 3 cm y la precisión de los relojes del satélite es de 150 picosegundos.

### 2.2.4 Efemérides ultrarrápidas, combinadas

- El IGS publica conjuntamente las previstas y las observadas cada 6 horas (00, 06, 12 y 18 h UTC). Cada una de ellas contiene información de 48 horas, de las cuales 24 son previas a la publicación y las otras 24 son posteriores. Tardan en publicarlas entre 3 y 9 horas.

Ejemplo:

- igu18320\_00.sp3  
**igu** Efemérides ultrarrápidas del IGS, sólo GPS.  
**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980.  
**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2, ..., viernes = 5 y sábado = 6)  
**\_00** Hora de comienzo de las 48 horas. Puede ser **\_00, \_06, \_12 o \_18**.  
**\*.sp3** Precisión estándar versión 3

### 2.2.5 Efemérides rápidas

Publicadas por el IGS entre 17 y 41 horas después del paso del satélite todos los días a las 17 UTC. La precisión de las órbitas satelitales es de 2.5 cm y la de los relojes de los satélites y las estaciones de control son 75 picosegundos.

Ejemplos:

- igr18320.sp3  
**igr** Efemérides rápidas del IGS, sólo GPS.  
**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980.  
**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2, ..., viernes = 5 y sábado = 6)  
**\*.sp3** Precisión estándar versión 3
- COD18320.EPH\_M  
**COD** CODE, GPS + GLONASS  
**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980.  
**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2, ..., viernes = 5 y sábado = 6)  
**\*.EPH\_M** Abarcan todo el día. Desde las 00 h hasta las 23.45 h.
- COD18320.EPH\_R  
**COD** CODE, GPS + GLONASS  
**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980.  
**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2, ..., viernes = 5 y sábado = 6)  
**\*.EPH\_R** Abarcan todo el día. Desde las 00 h hasta las 23.45 h.

### 2.2.6 Efemérides finales

El IGS las publica entre 12 y 18 días después del día de la observación, todos los jueves.

Ejemplos:

- igs18231.sp3

**igs** Efemérides finales del IGS, sólo GPS.

**1823** Semana GPS que comienza el 01/01/1980

**1** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2,..., viernes = 5 y sábado = 6)

\*.**sp3** Precisión estándar versión 3

- igs18231.sp3

**igl** Efemérides finales del IGS, sólo GLONASS.

**1823** Semana GPS que comienza el 01/01/1980

**1** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2,..., viernes = 5 y sábado = 6)

\*.**sp3** Precisión estándar versión 3

- COD18320.EPH

**CODCODE**, GPS + GLONASS

**1832** Semana GPS que comienza el 01/01/1980.

**0** Día de la semana (domingo = 0, lunes = 1, martes = 2,..., viernes = 5 y sábado = 6)

\*.**EPH** Abarcan todo el día. Desde las 00 h hasta las 23.45 h.

## 2.3 PRINCIPALES INSTITUCIONES QUE DIFUNDEN Y CALCULAN EFEMÉRIDES

A continuación se detallan algunas de las instituciones más representativas a nivel mundial dedicadas a calcular y a difundir datos GNSS como: efemérides, correcciones de los relojes de los satélites, coordenadas de las estaciones de seguimiento o parámetros atmosféricos.

### 2.3.1 International GNSS Service (IGS)



El IGS es una asociación sin ánimo de lucro formada por más de 200 agencias de todo el mundo para aportar recursos y datos de estaciones GPS y GLONASS con el fin de obtener productos precisos de GPS y GLONASS. El IGS está comprometido a proporcionar datos y productos de la máxima calidad como estándar para la navegación por satélite en apoyo de investigaciones científicas de la Tierra, aplicaciones multidisciplinarias y educación. En un futuro, tiene la intención de incorporar datos y productos de otros sistemas globales de navegación por satélite. Se considera como la comunidad civil internacional de máxima precisión de GNSS.

El IGS muestra en su servidor, junto a cada archivo, la fecha en la que éstos han sido modificados por última vez. Es necesario tener en cuenta que no está referido a tiempo UTC, como los archivos RINEX, sino que existe un desfase de 5 horas. Este detalle se

puede apreciar al encontrar efemérides que deberían ser calculadas tras el paso del satélite, publicadas 5 horas antes de que esto suceda. Por lo tanto, no hay que olvidar que la hora que figura en los servidores no tiene por qué ser UTC.

Los productos del IGS se pueden descargar a través de:

<http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/gps/>

Los centros que forman parte del IGS se clasifican en tres grupos: operacionales regionales y globales.

#### 2.3.1.1 Centros operacionales

Se encuentran en contacto directo con las estaciones de toma de datos. Sus tareas incluyen monitorización de estaciones, validación de la información obtenida, cambio de formato a RINEX, compresión de archivos con información GNSS, almacenaje de archivos locales con el seguimiento en el formato original del receptor y en el formato de intercambio y la transmisión electrónica de datos en el formato de intercambio a un centro global o regional. Los centros operacionales pueden permitir o no el acceso a los archivos almacenados. Estos centros deben descargar información de los receptores situados en las estaciones IGS cumpliendo los requisitos de al menos un tipo de producto del IGS.

#### 2.3.1.2 Centros regionales

Recopilan información de seguimiento de varios centros Operacionales y/o estaciones en formato de intercambio, guardan un archivo local de los datos recibidos, proporcionan acceso vía internet a la comunidad de usuarios de la región y transmiten la información desde un subconjunto de sus centros (al menos las estaciones del marco de referencia del IGS) hasta los centros globales. El conjunto de estaciones almacenadas pueden ser de una región geográfica limitada como por ejemplo Europa o Australia, o pueden ser exclusivamente las estaciones gestionadas por la agencia que almacena los datos. La mayoría de los centros operacionales son además centros regionales.

#### 2.3.1.3 Centros globales

Son la conexión principal con los centros de Análisis y la comunidad de usuarios en general. Reciben y recuperan información y proporcionan acceso vía internet de datos de seguimiento suministrados por los centros operacionales y regionales. Los centros de datos Globales almacenan, al menos, archivos de muestra de intervalos de 30 segundos desde los servidores del IGS identificados como estaciones del marco de referencia. Estos centros también almacenan y proporcionan acceso vía internet a los productos del IGS. Finalmente, los centros de datos globales del IGS hacen copias de seguridad e intercambian archivos entre otros centros para asegurarse de que todos los productos sean iguales.

### 2.3.2 Center for Orbit Determination in Europe (CODE)

El CODE es uno de los centros de análisis del IGS. Está gestionado desde 1992 por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna. Funciona gracias a la asociación del AIUB, de la Oficina federal suiza de topografía, de la Oficina Federal alemana de Cartografía y Geodesia y del Instituto de Astronomía y Geodesia Física de la Universidad Técnica de Múnich.

Se encarga diariamente de calcular y poner a disposición de aplicaciones geodésicas y topográficas: órbitas precisas de los satélites GPS y GLONASS, coordenadas de las estaciones permanentes, parámetros de rotación terrestre, correcciones de los relojes de los satélites y receptores y mapas globales ionosféricos y troposféricos. Contribuye al monitoreo y mantenimiento del Marco de referencia terrestre internacional (ITRF).

Los cálculos se realizan mediante Bernese Processing Engine (BPE) que es parte del software GNSS de Bernesse.

Servidor CODE: <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>

### 2.3.3 Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI)



La división de geodesia espacial del KASI, desde 1989, ha dirigido investigaciones sobre geodesia espacial con GPS y desde 1995 ha colaborado con el IGS y el IERS como un centro global GNSS. Además de haber creado su propio software para procesado de datos GNSS, ha trabajado con Bernesse. También ha desarrollado un procedimiento automatizado para trabajar con el IGS

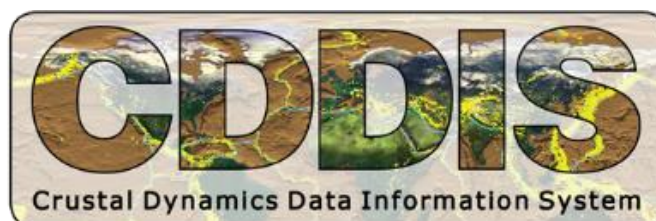


Descarga de efemérides: <ftp://nfs.kasi.re.kr/>

### 2.3.4 Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS)

Se desarrolló inicialmente en 1982 para almacenar y proveer de datos geodésicos al Proyecto de Crustal Dynamics (CDP). El sistema continúa apoyando a la comunidad de geodesia espacial a través del proyecto geodésico y del proyecto científico terrestre de la NASA.

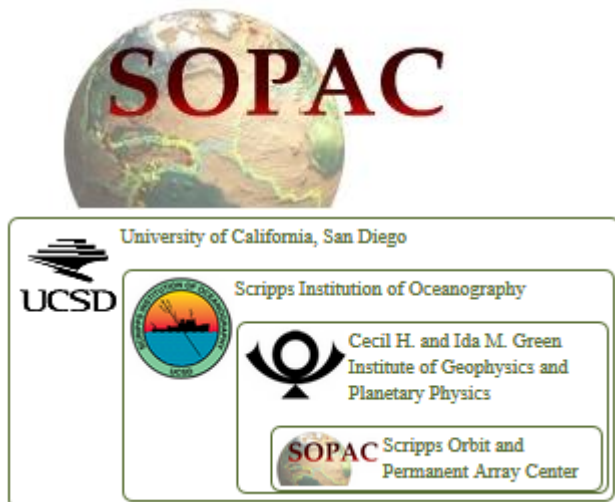
Hoy en día el CDDIS almacena y distribuye principalmente información de Sistemas de Navegación Global por Satélite (GPS y GLONASS), SLR, LLR, VLBI y DORIS. Desde 1992 ha funcionado



como un centro global de datos para el IGS. El CDDIS apoya activamente al ILRS, IVS, IDS y al IERS.

Servidor CDDIS: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/>

### 2.3.5 Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)



El centro dependiente de la universidad de California, se encarga de procesar y almacenar datos GPS de alta precisión para el estudio de riesgo sísmico, movimiento de placas tectónicas, deformaciones de la corteza terrestre y meteorología.

Dirige el California Real Time Network (CRTN), que es un programa de investigación formado por la universidad que tiene como principal objetivo investigar en sistemas de advertencia temprana de riesgos naturales utilizando tecnología GPS de precisión en tiempo real.

Las efemérides de SOPAC se pueden descargar en: <ftp://garner.ucsd.edu/products/>

### 2.3.6 Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN)



El instituto de la información geográfica y forestal nacional de Francia, es un centro global del IGS. Su labor principal es describir la superficie y la ocupación del territorio francés para desarrollar y actualizar el inventario permanente de los recursos forestales.

El área de geodesia de esta institución dedica muchos recursos a la investigación de DORIS, pero también a otros sistemas de posicionamiento como GPS, GLONASS o Galileo.

Enlace de descarga de las efemérides del IGN: <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/products/>

### 2.3.7 Australian Government Geoscience Australia (AUSLIG)

Geoscience Australia es una entidad del gobierno australiano dentro del marco de la industria, innovación y ciencia.

Opera y mantiene, en cooperación con otras organizaciones, unas 100 estaciones de referencia GNSS situadas en Australia y en el Pacífico Sur. Estas redes GNSS permiten estudiar los movimientos de la corteza terrestre y el aumento del nivel medio del mar. También se emplean para evaluar el impacto del calentamiento global en el clima del Pacífico y para conocer los movimientos altimétricos de las placas tectónicas. Los datos obtenidos de la red se envían al IGS pero también se pueden descargar bajo licencia creative commons. De momento no tienen capacidad para generar sus propias efemérides.



## Australian Government Geoscience Australia

---

Se llevan almacenando datos GNSS en su servidor desde 1992:

<ftp://ftp.ga.gov.au/geodesy-outgoing/gnss/data/>

### 2.3.8 GNSS Data Center (GDC)

Este centro de datos regional del IGS es un servicio de la Oficina Federal de Cartografía y Catastro alemana (BKG). Su labor consiste en proporcionar datos de seguimiento de satélites GPS y GLONASS y productos derivados de esas observaciones.



Las efemérides se pueden descargar en su servidor:

<ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/products/>

### 2.3.9 Hartebeesthoek Radio Astronomy Observatory (HRAO)

El observatorio de radio astronomía de Hartebeeshoek, situado en Johannesburgo consta de una división de geodesia espacial que se ha desarrollado fundamentalmente en los últimos años. Es uno de los cinco lugares en el mundo en el que se emplean cuatro técnicas: VLBI, SLR, GNSS y DORIS. La mayoría de proyectos que se llevan a cabo en el observatorio HartRAO son internacionales.



### 2.3.10 Mission Control Centre (MCC)



Mission Control Centre es una división del Federal State Unitary Enterprise.

Se encuentra en Rusia y está encargada principalmente de aumentar la seguridad espacial, controlar trayectorias de naves espaciales y procesar información científica.

### 2.3.11 Nomenclatura de los archivos de efemérides

A continuación se detallan los prefijos que utilizan los distintos organismos.

*Tabla 2.1* Los tres primeros caracteres del nombre del archivo de las efemérides indican la entidad que los ha generado.

Prefijo	Entidad
emr	NRCan
emx	NRCan (sólo GLONASS)
emu	Productos ultrarrápidos de NRCan
esa	ESA
esr	Productos rápidos de ESA
esu	Productos ultrarrápidos de ESA
gfz	GFZ
gfr	Productos rápidos de GFZ
gfu	Productos ultrarrápidos de GFZ
grg	GRGS
gsi	GSI
iac	MCC (sólo GLONASS)
igl	IGS solución final (sólo GLONASS)
igr	IGS solución rápida (sólo GPS)
igs	IGS solución final (sólo GPS)
igu	IGS solución ultra rápida (sólo GPS)
igv	IGS solución ultra rápida (GPS y GLONASS)
jpl	JPL
mcc	MCC (sólo GLONASS de datos SLR)
mit	MIT
mig	MIT
ncl	Universidad de Newcastle
ngs	NOAA/NGS
ngu	Productos ultrarrápidos de NOAA/NGS
sio	SIO
siu	Productos ultrarrápidos de SIO
cod	CODE
cou	Productos ultrarrápidos de CODE



### 3 METODOLOGÍA

Con la intención de verificar adecuadamente las precisiones de los puntos calculados con las distintas efemérides se ha diseñado un test que combina distintas variables.

Para cada tipo de efeméride estudiada, se calculan 3 líneas base de distinta distancia. Las 3 líneas base deben ser las mismas para todas las efemérides.

Cada línea base se calcula 2 veces, con dos duraciones de sesión de 1 y 3 h.

Todos los cálculos se deben realizar de manera idéntica 12 veces, con datos de los distintos meses del año, correspondientes al día 15 de cada mes. Esto implica que para cada tipo de efeméride se efectúan 72 cálculos.

#### 3.1 ELECCIÓN DE LÍNEAS BASE


Se han escogido 3 líneas base, entre 4 puntos situados en la Península Ibérica, que son HENA (Alcalá de Henares, Madrid), IGNE (Madrid, Madrid), TARI (Tarifa, Cádiz) y GIRO (Sant Julià de Ramis, Gerona). Todas ellas corresponden a la red de estaciones permanentes del IGN (ERGNSS), salvo HENA que forma parte de la Red de Estaciones GNSS de la Comunidad de Madrid. Las estaciones seleccionadas



*Figura 3.1* Distribución de las estaciones y las líneas base.

pertenecen a dos redes diferentes. En ocasiones, aunque varias redes estén referidas al mismo marco de referencia, puede haber diferencias de coordenadas entre ambas si en al menos una de ellas se ha realizado un ajuste libre en el cálculo de las coordenadas de los vértices. Para este estudio, este posible error no afecta porque lo que se comparan son incrementos entre una misma distancia medida varias veces. Un error en las coordenadas de la estación base o en la “rover”, siempre que sea constante en todas las observaciones, afecta por igual a todos los cálculos, por lo que los incrementos entre todas las soluciones son cero. Por este motivo, para evaluar la precisión de las efemérides no se han comparado las coordenadas calculadas para cada estación “rover”, con las coordenadas de la reseña, sino que se han comparado los resultados entre sí. Los datos técnicos de estas estaciones son:

• IGNE (INSTITUTO GEOGRÁFICO)



**Área de Geodesia**  
**Subdirección General de Geodesia y Cartografía**

---

**Reseña de Estación Permanente - ERGNSS**

3-oct-2015

**Situación:**


Código.....: <b>IGNE</b>	Municipio: <b>Madrid</b>
Nombre.....: <b>IGNE</b>	
Código IERS: <b>13411M001</b>	Provincia: <b>Madrid</b>
Instalación...: <b>19 de mayo de 2008</b>	

---

Localización.: Instituto Geográfico Nacional, C/ Gral. Ibañez de Ibero, 3  
28008 - Madrid -

---

Construcción: Pilar de hormigón, de 1,20 cm. La marca de coordenadas se encuentra en placa metálica.




**Coordenadas ETRS89:**

Longitud.....: - 3° 42' 34,28323"	X.....: 4851137.670 m.
Latitud.....: 40° 26' 45,00901"	Y.....: -314518.688 m.
Altitud elipsoidal: 766.920 m.	Z.....: 4116282.036 m.

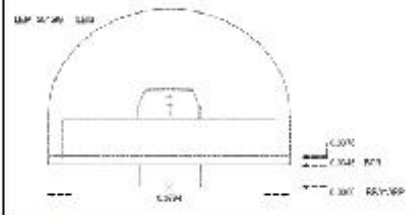
---

X UTM.....: 439830.797 m.	Altitud sobre el nivel medio del mar:
Y UTM.....: 4477484.239 m.	
Huso.....: 30	



**Instrumentación:**

Receptor: **LEICA GRX1200GGPRO**  
 Antena: **LEIAT504GG LEIS**    Altura: **0.0460 m. (BPA)**  
 Offset de centros de fase de antena: L1 **0.087 m.**    L2 **0.118 m.**  
 Esquema antena



**Información adicional:**

Esta estación permanente pertenece a la red ERGNSS.

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

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

- IGNE1 formato de la corrección RTCM versión RTCM 3.1
- IGNE1 formato de la corrección RTCM versión RTCM 2.3

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

**Observaciones:**

Figura 3.2 Reseña de la estación permanente IGNE.

- TARI (TARIFA)


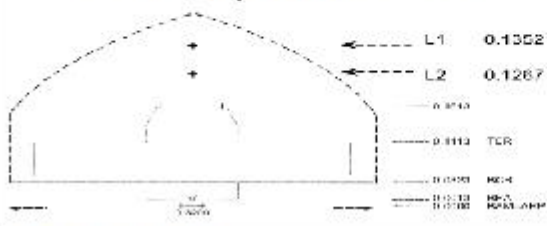


		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
<b>Reseña de Estación Permanente - ERGNSS</b>		3-oct-2015	
<b>Situación:</b>			
Código.....: <b>TARI</b>	Municipio: Tarifa		
Nombre.....: <b>Tarifa</b>	Provincia: Cádiz		
Código IERS: 19350M001	Instalación...: 15 de mayo de 2010		
Localización.: Puerto de Tarifa Cádiz			
Construcción: Hexaedro de hormigón armado y estructura metálica. La marca de coordenadas se encuentra referida al clavo embutido en la cara superior del hexaedro.			
<b>Coordenadas ETRS89:</b>			
Longitud.....: -5° 36' 09,43355"	X.....: 5140808.375 m.		
Latitud.....: 36° 00' 30,62882"	Y.....: -504298.045 m.		
Altitud elipsoidal: 49.938 m.	Z.....: 3728984.738 m.		
X UTM.....: 265432.088 m.	Altitud sobre el nivel medio del mar:		
Y UTM.....: 3988025.461 m.			
Huso.....: 30		8.420 m.	
<b>Instrumentación:</b>			
Receptor: LEICA GR25			
Antena: LEIAR20	LEIM	Altura: 0.2050 m. (ARP)	
Offset de centros de fase de antena: L1 0.127 m. L2 0.135 m.			
Esquema antena			
			
<b>Información adicional:</b>			
Esta estación permanente pertenece a la red ERGNSS.			
Datos horarios a 1, 5, 15 y 30 segundos y diarios a 30 segundos <a href="http://no.geodesia.ign.es">http://no.geodesia.ign.es</a>			
Emite correcciones diferenciales a través del Caster <a href="http://ergnss-ip.ign.es">http://ergnss-ip.ign.es</a> a través del punto de montaje: - TARI0 formato de la corrección RTCM versión RTCM 3.1			
E-mail de contacto: <a href="mailto:huzon-geodesia@tormento.es">huzon-geodesia@tormento.es</a>			
			
			
<b>Observaciones:</b>			

Figura 3.3 Reseña de la estación permanente TARI.

• **GIRO (GERONA)**



**Área de Geodesia**  
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

---

**Reseña de Estación Permanente - ERGNSS**

21-nov-2015

**Situación:**

Código.....: <b>GIRO</b>	Municipio: <b>Sant Julia de Ramis</b>
Nombre.....: <b>Girona</b>	Provincia: <b>Girona</b>
Código IERS: <b>19381M001</b>	Instalación...: <b>01 de febrero de 2012</b>

**Localización:** Centro de Conservación de Carreteras del Estado en Sant Julia de Ramis (Girona)  
Carretera N-Ila, P.K. 724,800  
17481 - Sant Julia de Ramis (Girona)  
**Construcción:** Pilar de hormigón armado 0.40 m de altura. La marca de coordenadas se encuentra en placa metálica.



**Coordenadas ETRS89:**

Longitud.....: <b>2° 51' 18,46479"</b>	X.....: <b>4738101.831 m.</b>
Latitud.....: <b>42° 02' 29,70808"</b>	Y.....: <b>236301.889 m.</b>
Altitud elipsoidal: <b>112.718 m.</b>	Z.....: <b>4249110.831 m.</b>

X UTM.....: <b>488009.951 m.</b>	Altitud sobre el nivel medio del mar:
Y UTM.....: <b>4654403.592 m.</b>	
Huso.....: <b>31</b>	



**Instrumentación:**

Receptor: **LEICA GR10**  
Antena: **LEIAR25.R4 LEIT** Altura: **0.0776 m. (ARP)**  
Offset de centros de fase de antena: **L1 0.158 m. L2 0.154 m.**

**Esquema antena**



**Información adicional:**

Esta estación permanente pertenece a la red ERGNSS.

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

Emite correcciones diferenciales a través del Caster <http://eronss-tp.ign.es> a través de los puntos de montaje:  
- GIROD formato de la corrección RTCM versión RTCM 3.1  
- GIRO1 formato de la corrección RTCM versión RTCM 2.3

E-mail de contacto: [burxon-geodesia@tomento.es](mailto:burxon-geodesia@tomento.es)

**Observaciones:**

Figura 3.4 Reseña de la estación permanente GIRO.

- HENA (ALCALÁ DE HENARES)



**Figura 3.5** Reseña de la estación permanente HENA.

La elección de estos puntos ha venido motivada por la búsqueda de 3 distancias, una de 25 km, otra de 500 km y por último una de 1000 km. Con los puntos escogidos se ha logrado acercarse al objetivo marcado, siendo estas las distancias entre los puntos:

IGNE - HENA: 28 km.

IGNE - TARI: 520 km.

GIRO - TARI: 991 km.

Estas distancias no son las calculadas en este proyecto sino las distancias obtenidas a partir de los incrementos de coordenadas cartesianas que figuran en las reseñas.

Utilizando los puntos IGNE y TARI en dos distancias distintas, no sólo se ahorra mucho tiempo a la hora de cargar todos los archivos de observaciones y de efemérides, sino que además se pueden detectar errores constantes producidos por una estación en concreto que afecten a dos distancias al mismo tiempo.

Todas las estaciones se han escogido sobre la misma placa tectónica, la Ibérica, para minimizar desplazamientos desiguales en los puntos de las líneas base.

No obstante, aunque la Península Ibérica se encuentre en la misma placa tectónica, ésta no actúa como un sólido rígido ante los procesos que se producen en los márgenes tectónicos. Para comprobar cuánto se desplazan los extremos de las líneas base, se ha consultado la publicación del ITRF que muestra las velocidades anuales de estaciones de todo el mundo con respecto al marco de referencia ITRF2008. Esto es importante porque se ha medido la misma distancia con intervalos de tiempo de hasta 11 meses. Además, la estación GIRO está localizada en una posición cercana al límite entre la placas Ibérica y Euroasiática. Al sur de la península, el punto TARI se encuentra en una zona próxima al límite entre las placas Euroasiática y Africana. Las estaciones IGS más cercanas a HENA, IGNE, TARI y GIRO que se han localizado: son SFER (San Fernando, Cádiz), VILL (Villafranca, Madrid), MADR (Robledo de Chavela, Madrid), EBRE (Roquetes - Tortosa, Tarragona), YEBE (Yebe, Guadalajara), BELL (Belmunt de Segarra, Lérida) y CREU

(Cabo de Creus, Gerona). En el cuadro que se muestra a continuación, se detallan las velocidades de las estaciones:

**Tabla 3.1** Velocidades de estaciones permanentes GNSS.

Estación	Velocidad (mm/año)				Precisiones (mm)		
	vx	vy	vz	v	vx	vy	vz
MADR	-8.6	19.4	13.0	24.9	0.1	<0.1	0.1
SFER	-8.2	16.5	14.0	23.1	0.1	<0.1	0.1
CREU	-11.6	22.4	18.6	31.3	0.7	0.2	0.6
VILL	-10.4	20.2	12.0	25.7	0.1	<0.1	0.1
EBRE	-10.8	19.5	12.4	25.5	0.1	0.1	0.1
YEBE	-9.0	19.0	13.0	24.7	0.1	<0.1	0.1
BELL	-10.2	18.8	12.7	24.9	0.5	0.2	0.4

El ITRF no publica el intervalo de confianza de los valores de la tabla, se entiende que es 68.3%.

Los errores sistemáticos producidos por el movimiento de las placas tectónicas no se tienen en cuenta al considerarse despreciables en esta comparativa. Las velocidades se consideran constantes y extrapolables a la época de las observaciones. De las estaciones de la tabla superior, el mayor desplazamiento a lo largo de 11 meses se registra entre San Fernando y Cabo de Creus. El incremento de distancia entre ambas tras este periodo es inferior a 8 mm. Esas estaciones se encuentran a menos de 75 km de las estaciones TARI y GIRO, por lo que se producirá un error similar en la distancia TARI GIRO y en la SFER CREU.

En el caso de que se apreciase la influencia de la tectónica de placas en los resultados, habría que compensar los errores. La manera más sencilla de hacerlo sería escoger estaciones con velocidades conocidas entre las que calcular las líneas base.

### 3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS

Para este proyecto se han descargado más de 500 archivos de distintos servidores. Con el fin de evitar errores personales, como descargar varias veces el mismo fichero, no llegar a descargarlo o descargar uno equivocado, se ha realizado una hoja de cálculo que genera enlaces de descarga. Introduciendo la fecha se generan enlaces de descarga de efemérides, añadiendo el nombre de la estación, se obtienen de efemérides transmitidas y de archivos de navegación. Con sólo introducir el nombre de la estación, aparece el enlace para descargar la reseña.

Otra de las ventajas de crear la hoja de cálculo ha sido la automatización del cambio de fecha de calendario gregoriano (año/ mes/ día) a tiempo GPS (semana GPS + día de la semana) o (día del año + hora + año).

Por ejemplo:  $2014/06/15 = 1797 + 0 = 166 + 0 + 14$ .

**Tabla 3.2** Sección de la hoja de cálculo encargada de generar enlaces para descargar efemérides.

Día	Mes	Año	Enlaces de descarga
15	2	2014	<a href="#">1779_6 Ultrarrápidas GPS</a>
15	2	2014	<a href="#">1779_6 Ultrarrápidas GPS + GLONASS</a>
15	2	2014	<a href="#">1779_6 Rápidas GPS</a>
15	2	2014	<a href="#">1779_6 Finales GPS</a>
15	2	2014	<a href="#">1779_6 Finales GLONASS</a>
15	3	2014	<a href="#">1783_6 Ultrarrápidas GPS</a>
15	3	2014	<a href="#">1783_6 Ultrarrápidas GPS + GLONASS</a>

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE MAGNET OFFICE TOOLS

Dentro de los programas que oferta Topcon para los cálculos de gabinete, denominados Magnet Office, se han realizado los cálculos con la versión Tools. Ésta es la más básica, pero permite efectuar los cálculos GNSS en postproceso necesarios para este proyecto.

Como se trata de un software de pago, muchos de sus algoritmos están protegidos, como el que determina la ambigüedad de fase inicial  $N(t_0)$ . El programa emplea algoritmos de dobles y triples diferencias, pero se desconoce en qué momento hace uso de cada uno de ellos. Como en cada cálculo de este proyecto se utilizan dos receptores simultáneamente en una sola época, se entiende que el software utiliza el algoritmo de dobles diferencias.

En cuanto a sistemas de posicionamiento, el programa sólo permite dos opciones de cálculo: “Sólo GPS” y “GPS+”. La primera, como su propio nombre indica, descarta el uso de los satélites que no pertenezcan a la constelación Navstar. La segunda, utiliza para los cálculos, tanto los satélites GPS como los GLONASS. Aparentemente, con estas dos opciones se cubren todas las necesidades de cálculo que el usuario pueda tener. Sin embargo, no se pueden hacer cálculos únicamente con satélites GLONASS si se utilizan efemérides con información GLONASS y GPS, como las *igv\*.sp3* (ultrarrápidas del IGS). Este inconveniente, sumado a la imposibilidad del software de procesar las efemérides finales GLONASS del IGS (*igl\*.sp3*), dificulta la evaluación de las efemérides precisas GLONASS y la labor de los centros del IGS. Magnet Office Tools tampoco puede importar los archivos de efemérides basados en técnicas SLR que se apoyan en los retrorreflectores de los satélites GLONASS. Algunos de estos archivos son: *iac\*.sp3* y *mcc\*.sp3* descargados del servidor del CDDIS. Los ficheros *sir\*.sp3* y *siu\*.sp3* descargados del servidor de SOPAC con información de satélites GPS tampoco puede utilizarlos.

Magnet Tools puede importar, al menos, las siguientes extensiones de archivos de efemérides: \*.EPH; \*.EPH\_5D; \*.EPH\_M; \*.EPH\_P; \*.EPH\_P2; \*.EPH\_R y \*.sp3. También puede abrir los archivos de navegación \*.yyG y \*.yyN. Donde yy representa los dos últimos dígitos del año al que pertenece el archivo, según el protocolo RINEX.

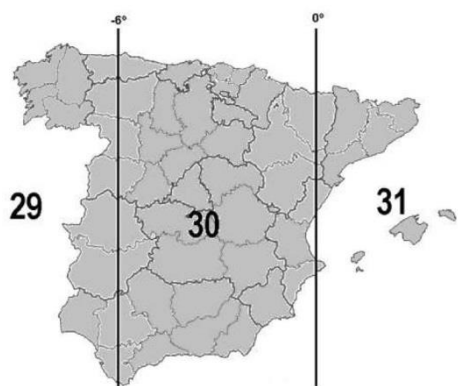
Magnet cuenta con una librería de archivos de calibración absoluta de gran variedad de antenas, incluyendo las utilizadas en este proyecto. No es necesario seleccionar la antena utilizada porque el programa lee automáticamente esta información del mensaje de observaciones. Se ha verificado que los offset de las reseñas de los vértices del IGN utilizados corresponden a los del archivo de calibración.

### 3.4 CRITERIOS DE CÁLCULO ELEGIDOS

Todas las líneas base se han calculado con el mismo método con el fin de que diferentes procedimientos no alteren las precisiones de las efemérides.

Para poder comparar los componentes planimétricos y altimétricos de los resultados se ha optado por transformar las coordenadas al sistema ETRS89 y proyectarlas al huso 30 Norte de UTM. Los errores producidos por los algoritmos de cambio de sistema de referencia son despreciables en este proyecto porque los elipsoides WGS84 y GRS80 son ambos globales y las diferencias entre sus semiejes son submilimétricas. Se ha tomado el huso 30 Norte para todos los puntos porque es el que mejor se adapta a todos ellos. Aunque el vértice GIRO pertenece al huso 31, es un punto fijo de las líneas base y sus coordenadas no se analizan en los resultados.

La utilización de alturas ortométricas Helmert requiere el uso de un modelo de geoide. Sin embargo, la determinación de la ondulación terrestre mediante modelos geopotenciales globales o incluso locales, no es exacta. Los errores ocasionados por utilizar alturas ortométricas son constantes a todas las observaciones y por lo tanto no afectan a la comparativa. No obstante, se ha elegido trabajar con alturas elipsoidales por si se quieren comparar, por ejemplo, los resultados de IGNE-TARI con los de GIRO-TARI. Si se comparasen las alturas ortométricas, éstas estarían afectadas por una incertidumbre constante por la utilización del modelo geopotencial local (por ejemplo, EGM08-



**Figura 3.6** Disposición de los husos 29, 30 y 31 de la proyección UTM.

---

REDNAP) en los puntos GIRO e IGNE. La precisión de este modelo es de 3.8 cm. Por lo que la incertidumbre constante sería:  $3.8 \times \sqrt{2} \approx 5.4$  cm, valor no despreciable.

Las antenas escogidas cuentan con receptores bifrecuencia, lo que reduce notablemente el error por retardo ionosférico, pero aún así se ha empleado el modelo meteorológico NRLMSISE. Para poder disminuir el retardo troposférico se ha utilizado el modelo Goad & Goodman.

De las más de 1300 líneas base estudiadas, se han utilizado 648 para la comparativa. No se ha realizado ningún tipo de ajuste porque se cada línea base se ha calculado de manera independiente. No se puede ajustar un sistema compatible determinado.

Se ha escogido el método relativo-estático entre estaciones fijas para evaluar de manera más precisa las efemérides, minimizando errores como multipath, orientación de la antena, SA o retardo ionosférico. Para reducir los retardos troposféricos y ionosféricos se ha fijado en gabinete una máscara de elevación de 15°.

Las principales efemérides utilizadas han sido descargadas del servidor del IGS, ya que la mayoría de los datos de sus productos provienen de un ajuste ponderado de instituciones como: NRCan, CODE, ESA, GFZ, IAC, JPL, MCC, MIT, NGS, SIO y WHU. Las efemérides calculadas por un centro regional pueden tener diferencias con respecto a las del IGS.

Para hallar resultados diferentes se han intentado buscar efemérides calculadas por organismos lo más alejado posible de España. El centro regional AUSLIG es el más cercano a las antípodas de España, por lo que es posible que su solución no fuese tan exacta para España como para Australia. Desgraciadamente, como confirmó por correo electrónico Ryan Ruddick, jefe de equipo de Geodesia y operaciones GNSS de AUSLIG, todavía no calculan sus propias efemérides.

Tras descartar Geosciencie Australia se ha descubierto que KASI tampoco calcula efemérides. Sin embargo, se han descargado del servidor coreano efemérides calculadas por el JPL. Estas efemérides no se encuentran en el servidor de JPL y se desconoce de qué tipo son porque no se especifica en el archivo ni en las páginas web de ninguna de las instituciones. Tampoco se ha conseguido información por medio de correo electrónico, pero probablemente se trate de efemérides rápidas porque se publican al cabo de 9 días.

Las efemérides empleadas han sido las siguientes:

- Efemérides transmitidas del sistema GLONASS (G): descargadas del servidor del IGN para GIRO, TARI e IGNE y del servidor de la CAM para HENA. Contenidas en el mensaje de navegación de cada estación.

Marco de referencia: PZ-90.11

- Efemérides transmitidas del sistema GPS (N): descargadas del servidor del IGN para GIRO, TARI e IGNE y del servidor de la CAM para HENA. Contenidas en el mensaje de navegación de cada estación.  
Marco de referencia: WGS84 (G1762)
  - Efemérides transmitidas de los sistemas GPS y GLONASS (N + G): Combinación de las dos anteriores.
  - Efemérides ultrarrápidas del IGS (IGU): Sólo contienen información de la constelación Navstar. De las 48 horas que abarcan, 24 h calculadas + 24 h previstas, sólo se utilizan en el periodo en el que son calculadas.  
Marco de referencia: IGS08  
Desde el 17 de abril de 2011 (semana GPS 1632) el marco de referencia del IGS deja de ser el IGS05 y se empieza a utilizar el IGS08 que está basado en el ITRF2008.
  - Efemérides ultrarrápidas del IGS (IGV): Contiene información de las constelaciones Navstar y GLONASS. De las 48 horas que abarcan, 24 h calculadas + 24 h previstas, sólo se utilizan en el periodo en el que son calculadas.  
Marco de referencia: IGb08  
Una pequeña actualización del marco de referencia IGS08 dio como resultado el marco IGb08 el 7 de octubre de 2012 (semana GPS 1709)
  - Efemérides ultrarrápidas del IGS (IGV-N): Son las mismas efemérides que las anteriores pero utilizando sólo los satélites GPS. Los resultados deberían coincidir con los de las efemérides IGU.
  - Efemérides rápidas del IGS (IGR): Sólo contienen información de la constelación Navstar.  
Marco de referencia: IGb08
  - Efemérides finales del IGS (IGS): Sólo contienen información de los satélites GPS.  
Marco de referencia: IGS08
  - Efemérides del JPL: Sólo contienen información de la constelación Navstar.  
Marco de referencia: IGb08.
- Las diferencias entre los distintos marcos de referencia que utilizan las efemérides de la comparativa son despreciables. En el caso de que las diferencias entre los marcos de referencia fueran significativas, la comparativa no se vería afectada porque se evalúa cada efeméride de forma separada.
- Las horas de observación escogidas se sitúan entre las 0.00 h y las 3.00 h UTC porque por la noche el retardo ionosférico es menor y se pueden evaluar mejor las efemérides.

## 4 RESULTADOS

Tras comparar las distancias obtenidas mediante las distintas efemérides, se pudo observar que los cálculos de la misma línea base efectuados con datos de distintos días del año, diferían entre sí unos valores mucho más elevados que las incertidumbres mostradas por Magnet para cada línea base. El software desconoce la incertidumbre de las efemérides con las que calcula y no puede detectar errores sistemáticos o constantes exclusivos de una sesión aislada. Entonces, la incertidumbre en el cálculo de posiciones calculadas con las efemérides será más optimista que la incertidumbre real.

También se ha apreciado, al representar gráficamente los puntos, la existencia de valores atípicos, fundamentalmente en planimetría. Para poder seguir analizando los resultados es indispensable determinar la incertidumbre de éstos y eliminar los valores atípicos.

### 4.1 DETECCIÓN DE VALORES ATÍPICOS

Los “outliers”, también conocidos como valores atípicos son aquellos resultados que se alejan notablemente del resto de la muestra.

Para localizar los valores atípicos se ha examinado por una parte la planimetría y por otra la altimetría. Las muestras de las sesiones de 1 hora y las de 3 horas se han analizado separadamente por tener distinta precisión.

El cálculo ha sido prácticamente el mismo en la detección de los valores atípicos en planimetría y en altimetría, siguiendo el procedimiento:

El primer paso ha consistido en hallar la media aritmética de la muestra. No se ha realizado una media ponderada porque todos los valores de cada muestra tienen igual precisión. En el caso de la altimetría, la muestra ha consistido únicamente en los incrementos de los resultados de las alturas elipsoidales con respecto de la media muestral. Sin embargo, la planimetría depende de los valores de Este y Norte de cada punto, por lo que se han comparado las distancias horizontales entre la media muestral y cada punto.

$$Promedio = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Posteriormente se han calculado los residuos ( $\Delta$ ), que son las diferencias entre los valores de la muestra y el valor promedio

$$\Delta = x - promedio$$

A continuación se ha dividido la suma de los cuadrados de todos los residuos entre el número de valores de la muestra menos uno. La raíz cuadrada de este valor corresponde a la desviación típica o incertidumbre estándar.

$$U_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$$

Para trabajar con un intervalo de confianza del 99.7%, según García y otros (2011), es necesario multiplicar la incertidumbre estándar por un factor de cobertura (K) que varía en función de la magnitud:

Magnitudes unidimensionales:  $K = 3$

Magnitudes bidimensionales:  $K = 3.5$

Magnitudes tridimensionales:  $K = 4$

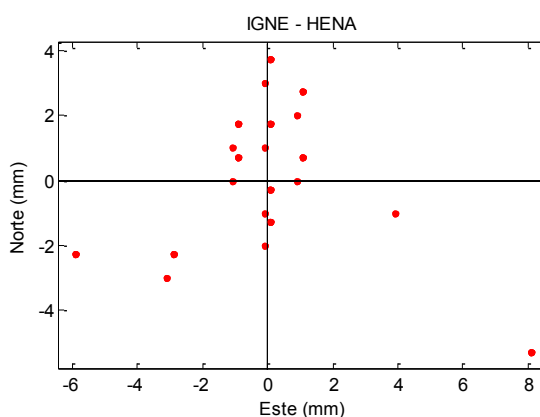
$$U_{Máx} = U_c \times K$$

Para el cálculo de la incertidumbre máxima altimétrica se ha tomado  $K = 3$ , no obstante, en el caso de la planimetría, se ha escogido  $K = 3.5$  porque lo comparado son distancias.

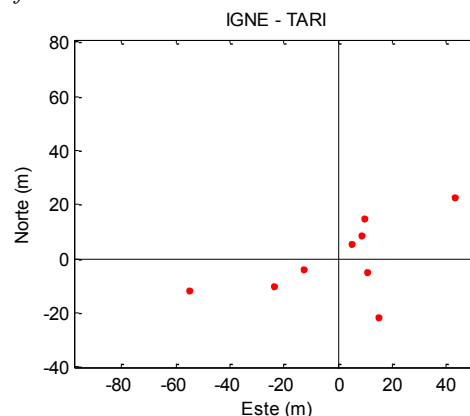
El total de valores típicos hallados es de 237, de los cuales solamente el 2.5% son puntos altimétricos. Una muestra tan pequeña hace imposible el uso de la distribución Normal.

El procedimiento de eliminación de valores atípicos perjudica a las muestras más

dispersas independientemente de la precisión de los resultados. Por ejemplo, en la figura 4.1 todos los valores tienen una precisión de menos de un centímetro y se consideran valores atípicos. En cambio, los resultados de la figura 4.2 difieren decenas de metros pero sólo un punto es desechado de la muestra.



**Figura 4.1** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides rápidas de la constelación Navstar en sesiones de 3 horas. Se muestran sólo 11 puntos, tras haber eliminado 1 en la primera iteración. En las siguientes iteraciones desaparecen el resto de puntos por superar la incertidumbre máxima que es inferior a 1cm.

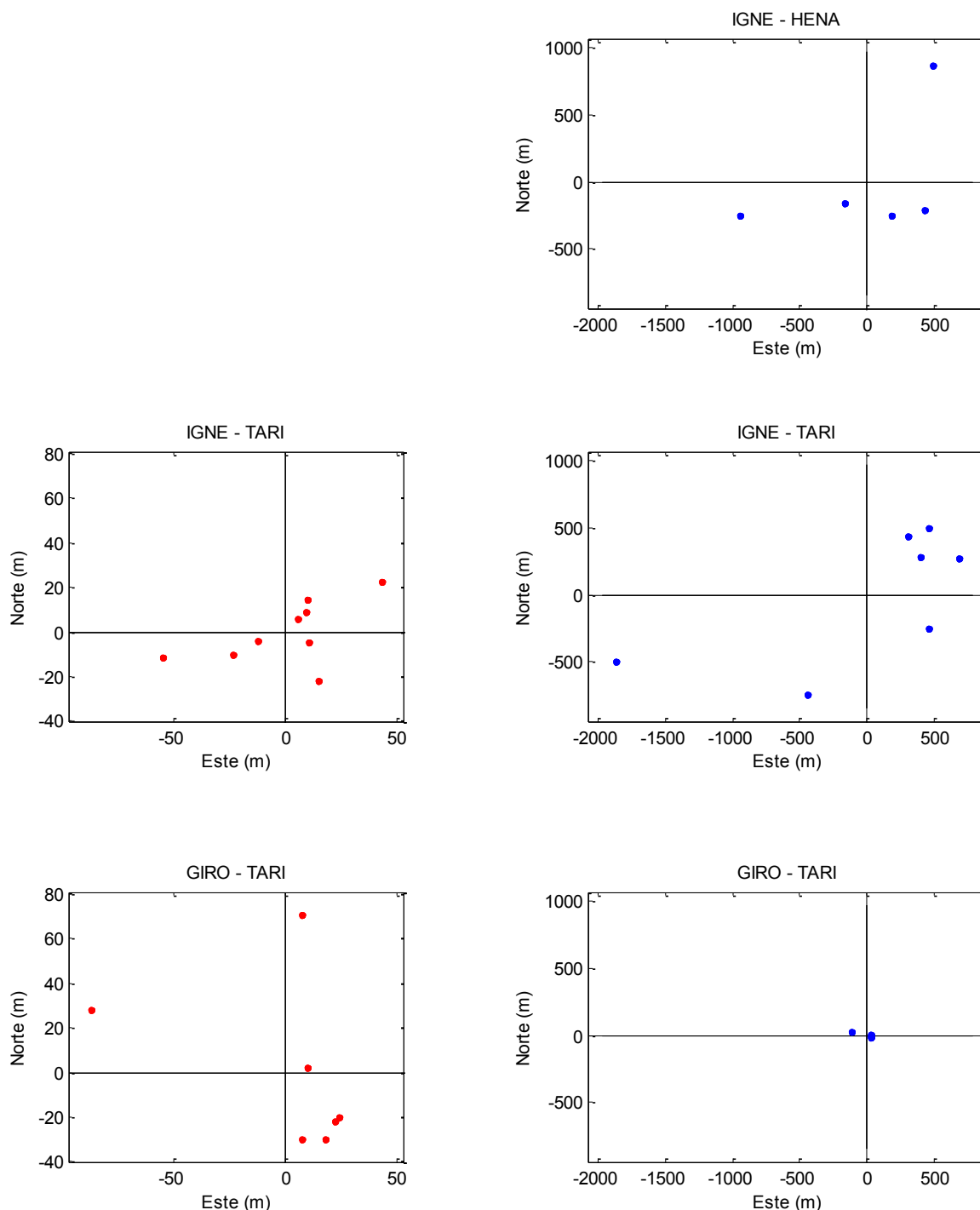


**Figura 4.2** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación Navstar en sesiones de 3 horas. Se muestran sólo 9 puntos, tras haber eliminado 1 en la primera iteración. Los otros dos puntos no los pudo calcular el software.

## 4.2 PLANIMETRÍA

### 4.2.1 Efemérides transmitidas GLONASS

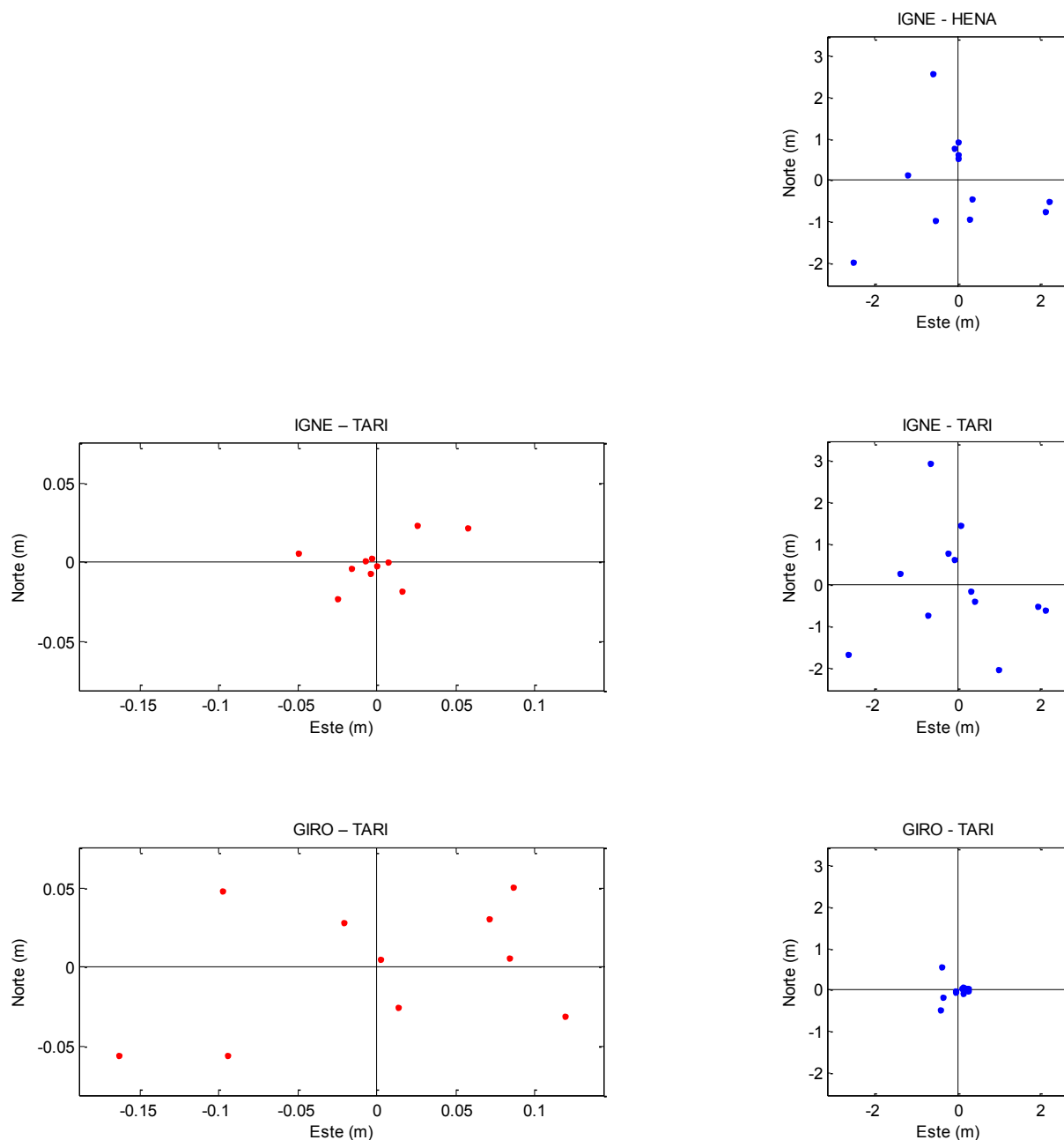
Resultados de los cálculos de las líneas base con efemérides transmitidas GLONASS.



**Figura 4.3** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE-HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.

#### 4.2.2 Efemérides transmitidas GPS

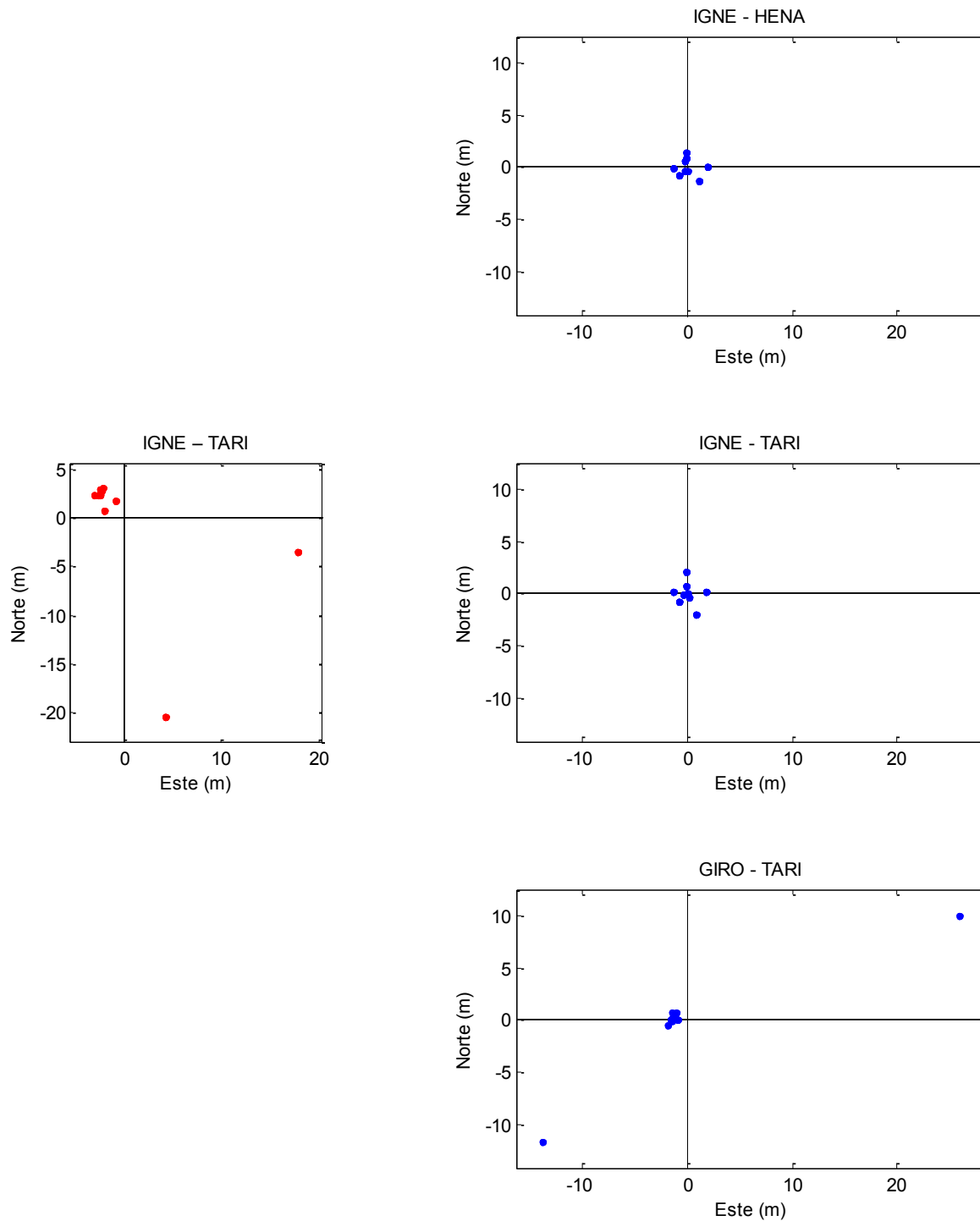
Posicionamientos calculados con efemérides transmitidas GPS.



**Figura 4.4** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE-HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.

### 4.2.3 Efemérides transmitidas GPS + GLONASS

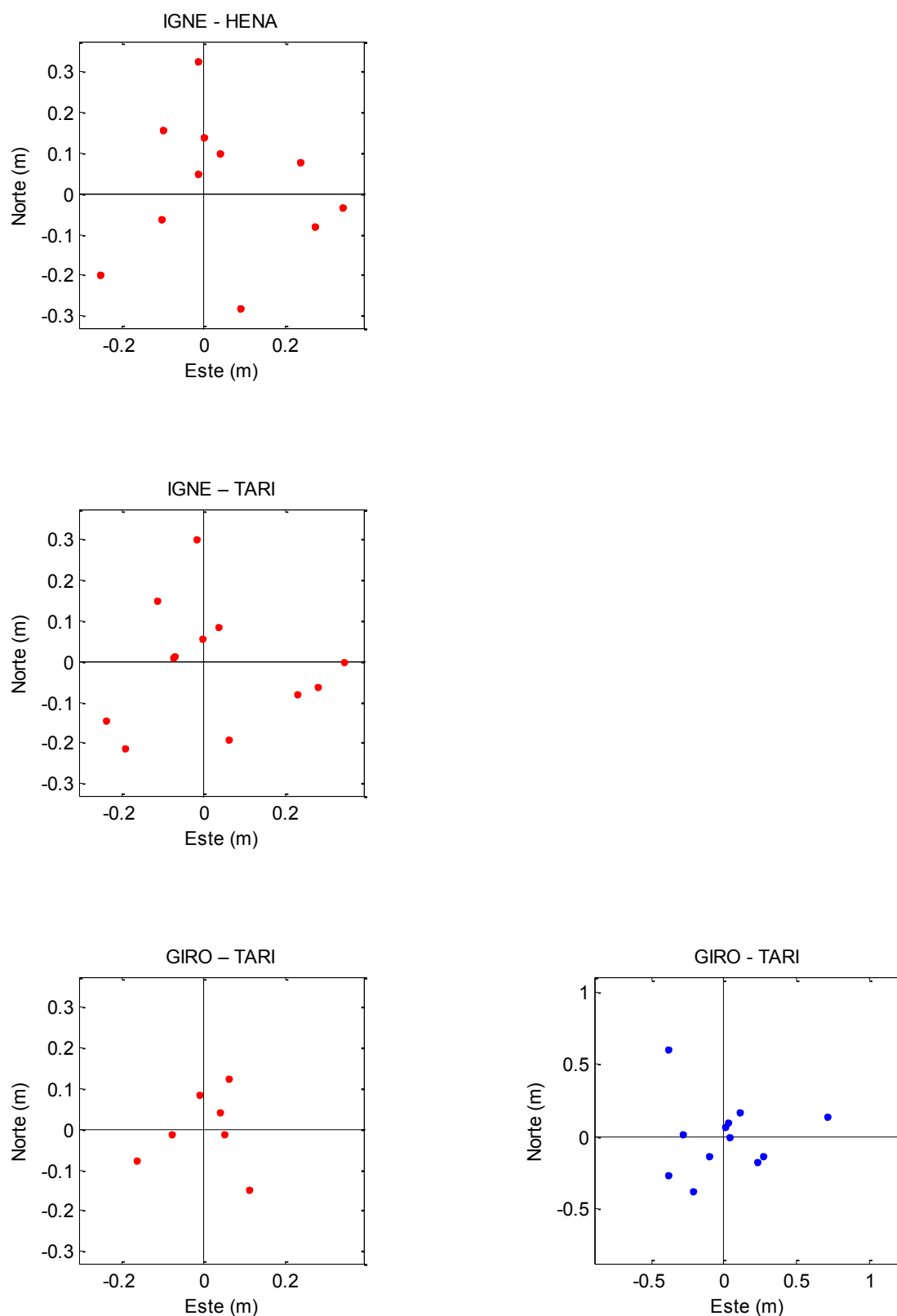
Combinación de las efemérides transmitidas de ambas constelaciones.



**Figura 4.5** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de las constelaciones GPS y GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de las distancia IGNE - HENA y GIRO - TARI no se representan por superar la incertidumbre máxima.

#### 4.2.4 Efemérides ultrarrápidas (IGU)

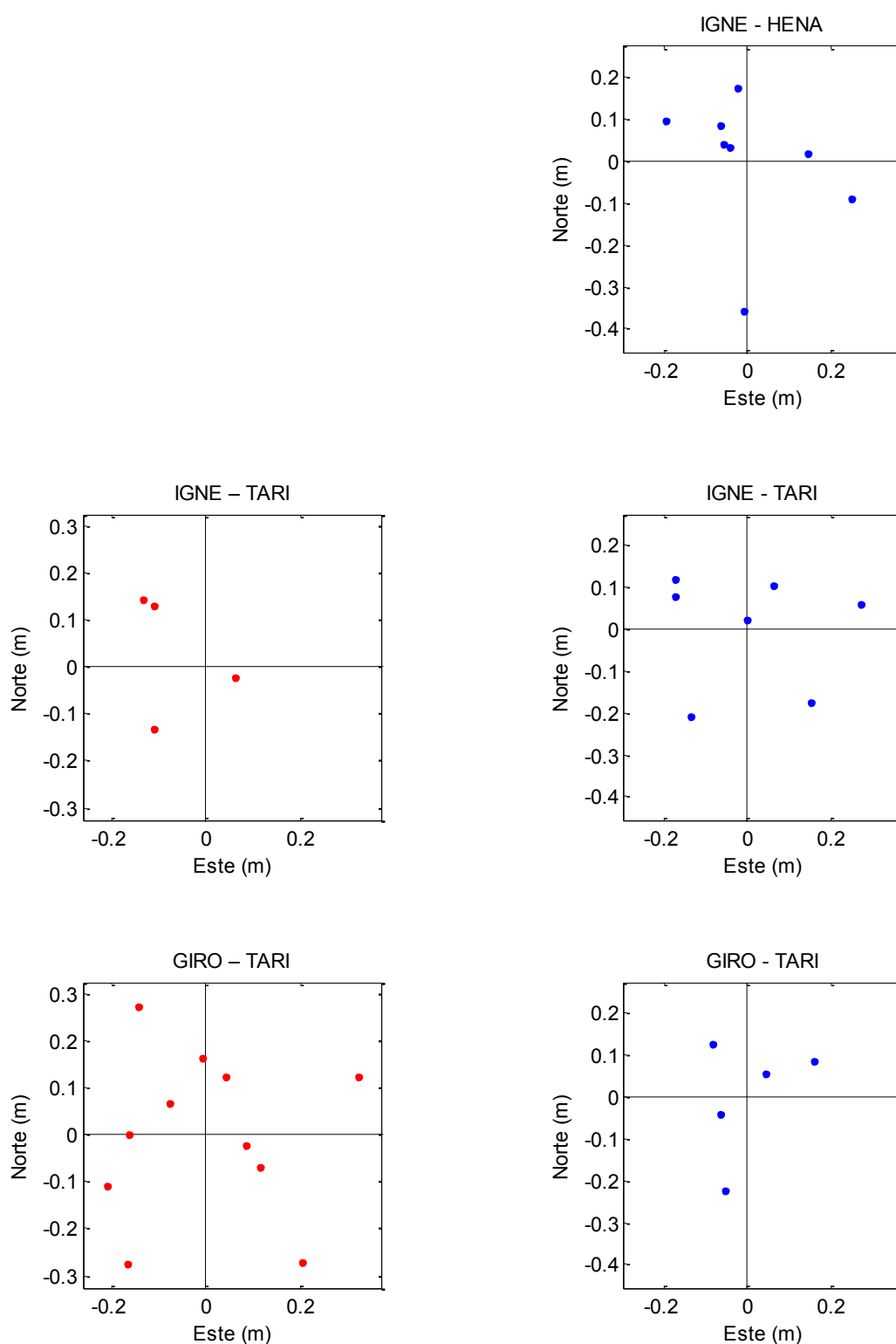
Resultados de los cálculos utilizando efemérides ultrarrápidas GPS.



**Figura 4.6** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul la de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 1 hora de las distancia IGNE-HENA e IGNE – TARI no se representan por superar la incertidumbre máxima.

### 4.2.5 Efemérides ultrarrápidas IGV sólo GPS

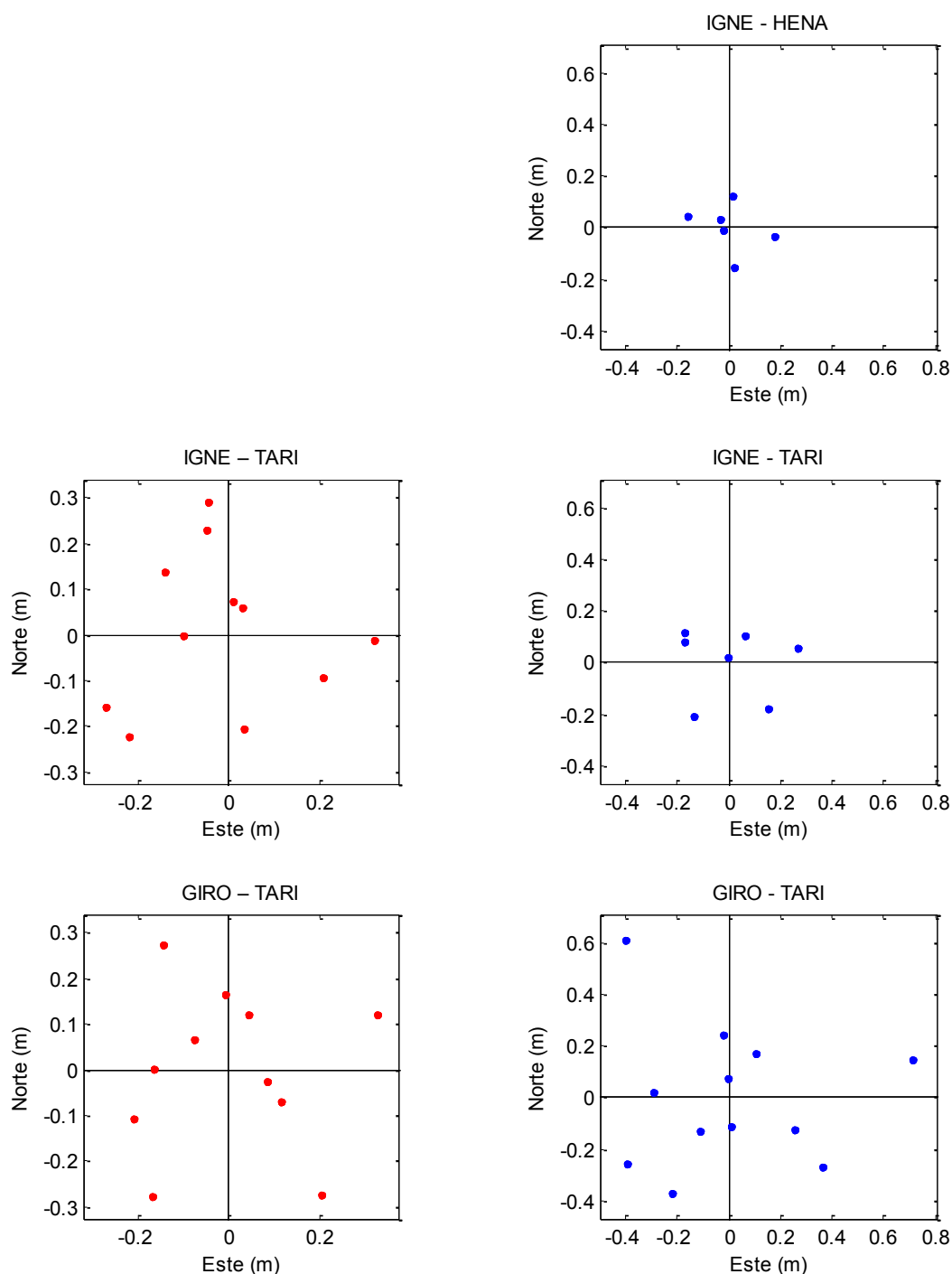
Posicionamientos calculados empleando sólo los satélites GPS de las efemérides ultrarrápidas con información de ambas constelaciones.



**Figura 4.7** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. Para este cálculo sólo se han utilizado satélites GPS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.

#### 4.2.6 Efemérides ultrarrápidas IGV GPS + GLONASS

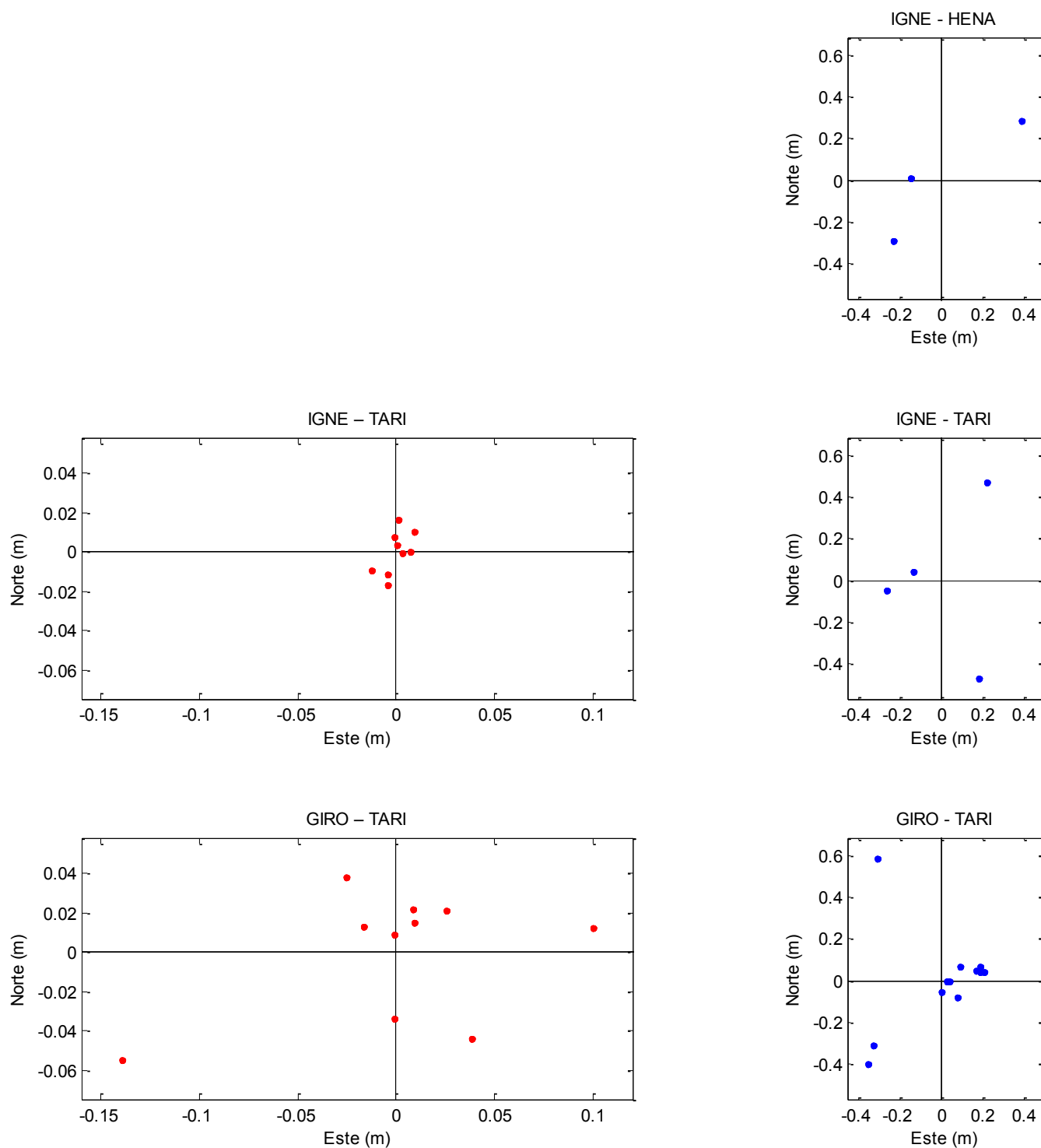
Resultados de los cálculos con efemérides ultrarrápidas, utilizando los satélites de las dos constelaciones.



**Figura 4.8** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.

### 4.2.7 Efemérides rápidas (IGR)

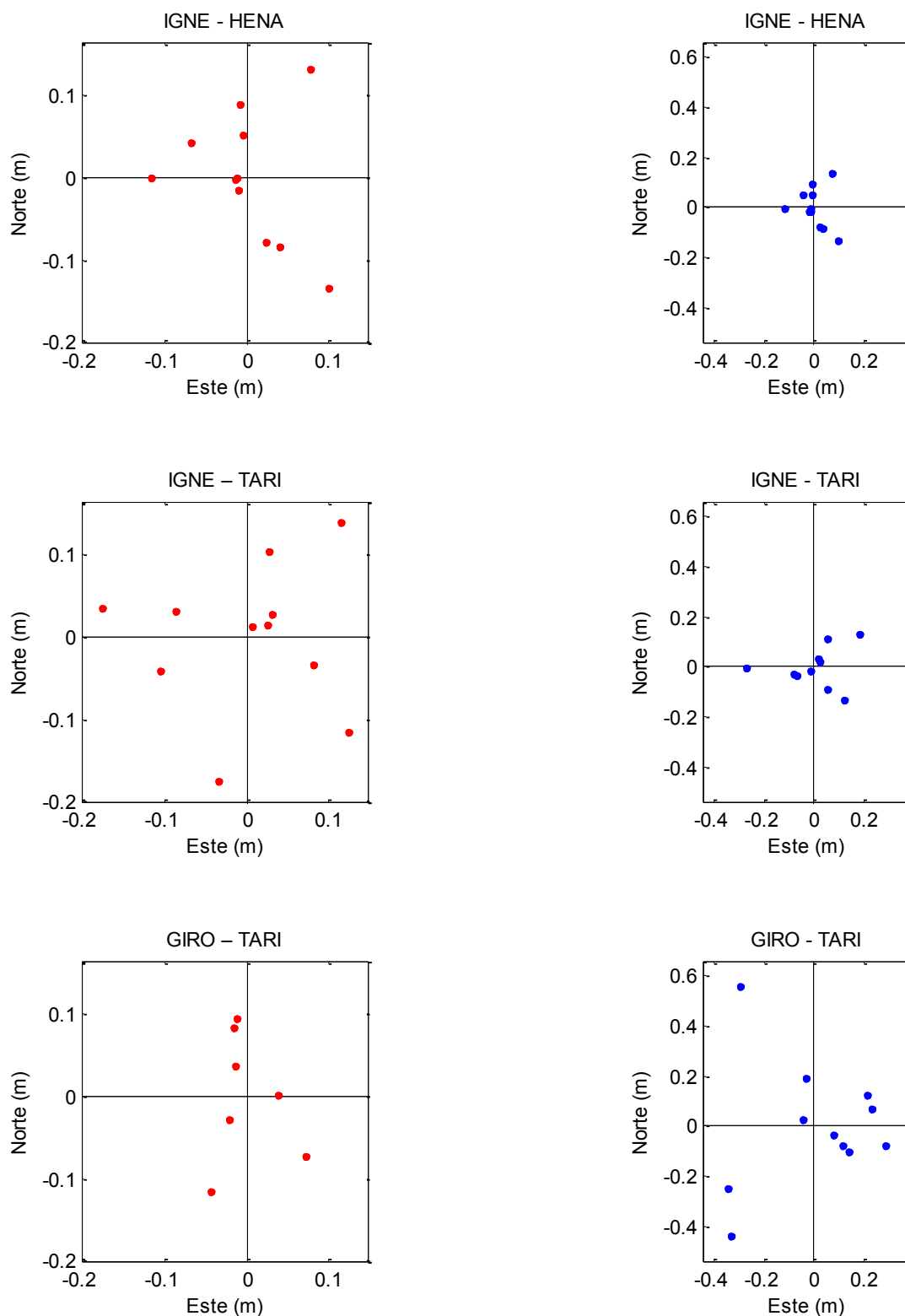
Cálculos realizados con efemérides rápidas con información de satélites GPS.



**Figura 4.9** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides rápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 3 horas de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.

### 4.2.8 Efemérides del Jet Propulsion Laboratory

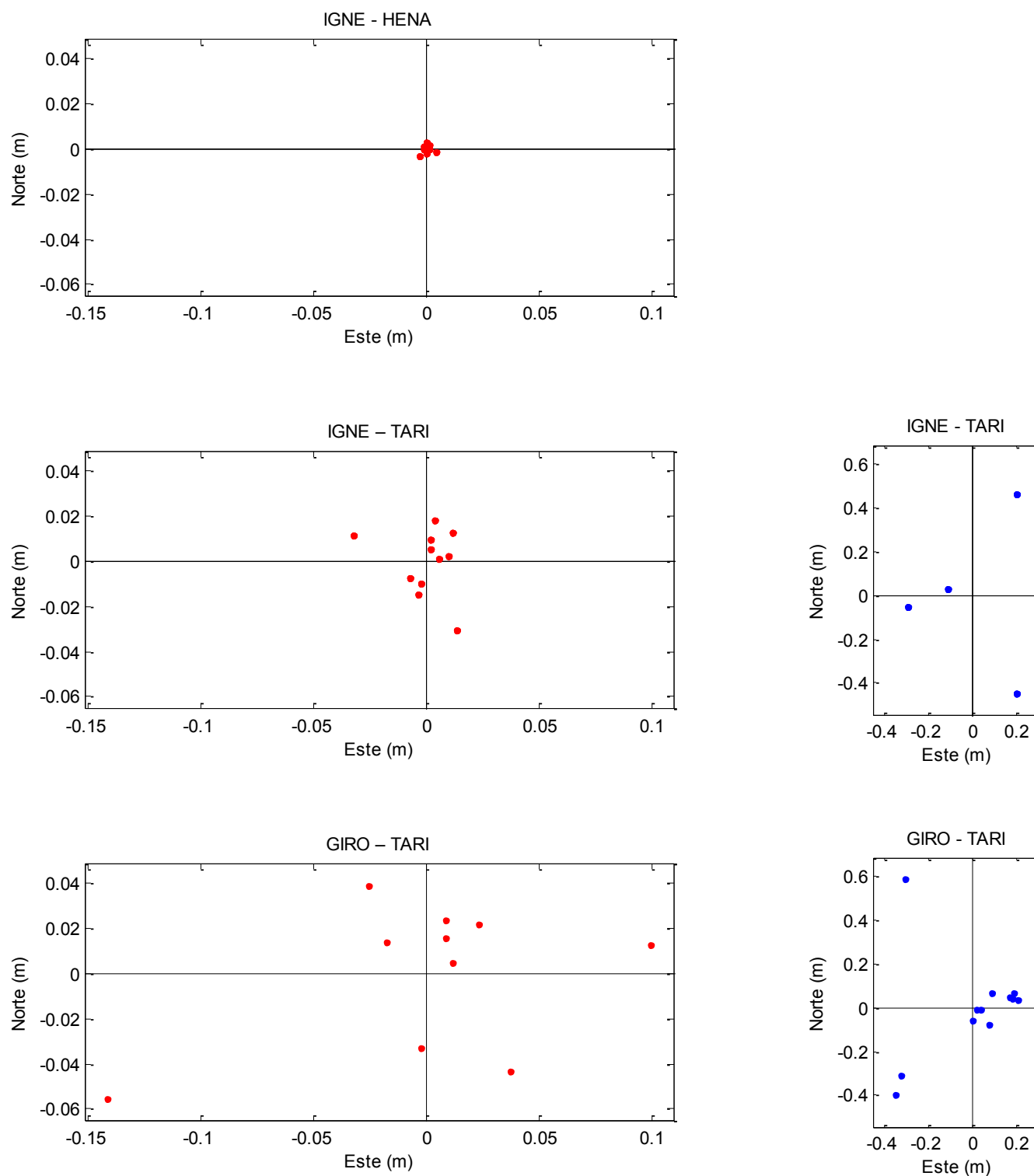
Resultados de las efemérides GPS calculadas por el centro regional JPL.



**Figura 4.10** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

### 4.2.9 Efemérides finales (IGS)

Posicionamientos calculados empleando efemérides finales GPS.



**Figura 4.11** Resultados planimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides finales de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de las sesiones de 1 hora de la distancia IGNE - HENA no se representan por superar la incertidumbre máxima.

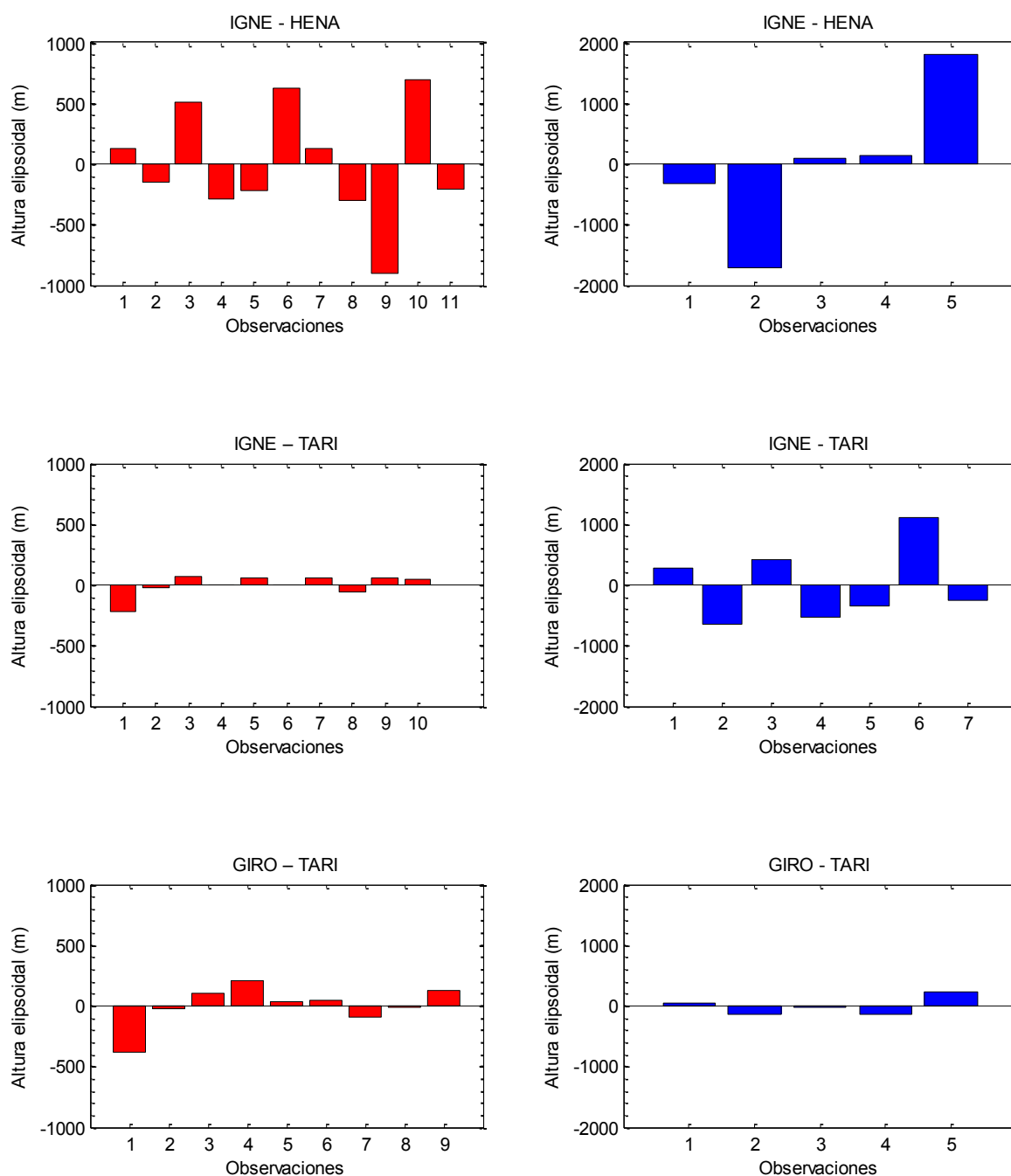
De todo lo anterior, se puede comentar lo siguiente para la planimetría:

- La primera observación es que las efemérides transmitidas GLONASS no se deben utilizar nunca debido a que los más de 180 m de incertidumbre de los resultados son insuficientes para cualquier trabajo topográfico, especialmente pudiendo recurrir a los resultados de las efemérides transmitidas GPS con incertidumbres inferiores a 1 m en sesiones de 1 h y de 5 cm en estacionamientos de 3 h. La combinación de efemérides transmitidas de ambas constelaciones ofrece resultados mejores que los obtenidos sólo con GLONASS, pero peores que los calculados sólo con GPS. Salvo en las observaciones de 3 h, no empeora la precisión a medida que aumenta la distancia. Las efemérides transmitidas son poco fiables por depender del segmento de control y porque no siempre son capaces de resolver ambigüedades.
- En algunos resultados de las efemérides transmitidas, existe cierta similitud entre los resultados de las distancias IGNE - HENA e IGNE - TARI. Esto no se puede atribuir a errores constantes de la constelación, porque en ese caso la distancia GIRO-TARI también estaría afectada. Lo más probable es que se deba a un error en la estación IGNE por ser común a ambas distancias. La redundancia generada al compartir estaciones ha permitido detectar este error.
- En las efemérides ultrarrápidas se ha producido algo inesperado, al ver que los resultados de las efemérides IGU y las IGV-N no son iguales. En las observaciones de 1 hora los resultados son mucho mejores en IGV-N (incertidumbres de 10 cm frente a 20 cm), pero en las sesiones de 3 h son algo más precisas las soluciones de IGU manteniéndose ambas entre los 5 y 10 cm. Por lo tanto, es interesante utilizar efemérides de ambas constelaciones en casos en los que sólo se utilice Navstar. Aunque las efemérides IGV-N han generado más valores atípicos que las IGU (36 frente a 29), éstos se han distribuido más homogéneamente entre las sesiones de 1 y 3 horas.
- A diferencia de los resultados de las efemérides transmitidas, en las ultrarrápidas (IGV-N) no empeoran al utilizar GLONASS (IGV) casi en ningún caso, aunque los resultados son un poco más dispersos. La peor incertidumbre de las IGV es de 22 cm.
- Las IGR son unas de las efemérides que más puntos atípicos ha creado. Los resultados en sesiones de 3 h (2.5 cm) son mejores que los de las efemérides transmitidas y ultrarrápidas, en cambio los de las observaciones de 1 h (25 cm) no mejoran con respecto de los de las ultrarrápidas.
- Pese a que se publican con posterioridad a las rápidas, las efemérides del JPL generan peores resultados (8 cm). No obstante, es el tipo de efeméride con menos valores atípicos entre sus resultados, concentrándose la mayoría en un mismo día para las 6 distancias.
- Como era de esperar, las efemérides finales (IGS) son las más precisas en observaciones de 3 h (1.8 cm), siendo muy similares a las rápidas. En cambio, en las sesiones de 1 h (19 cm) no alcanzan la precisión de las ultrarrápidas IGV-N. Las efemérides finales empeoran su precisión de manera proporcional a la longitud de la línea base.

### 4.3 ALTIMETRÍA

#### 4.3.1 Efemérides transmitidas GLONASS

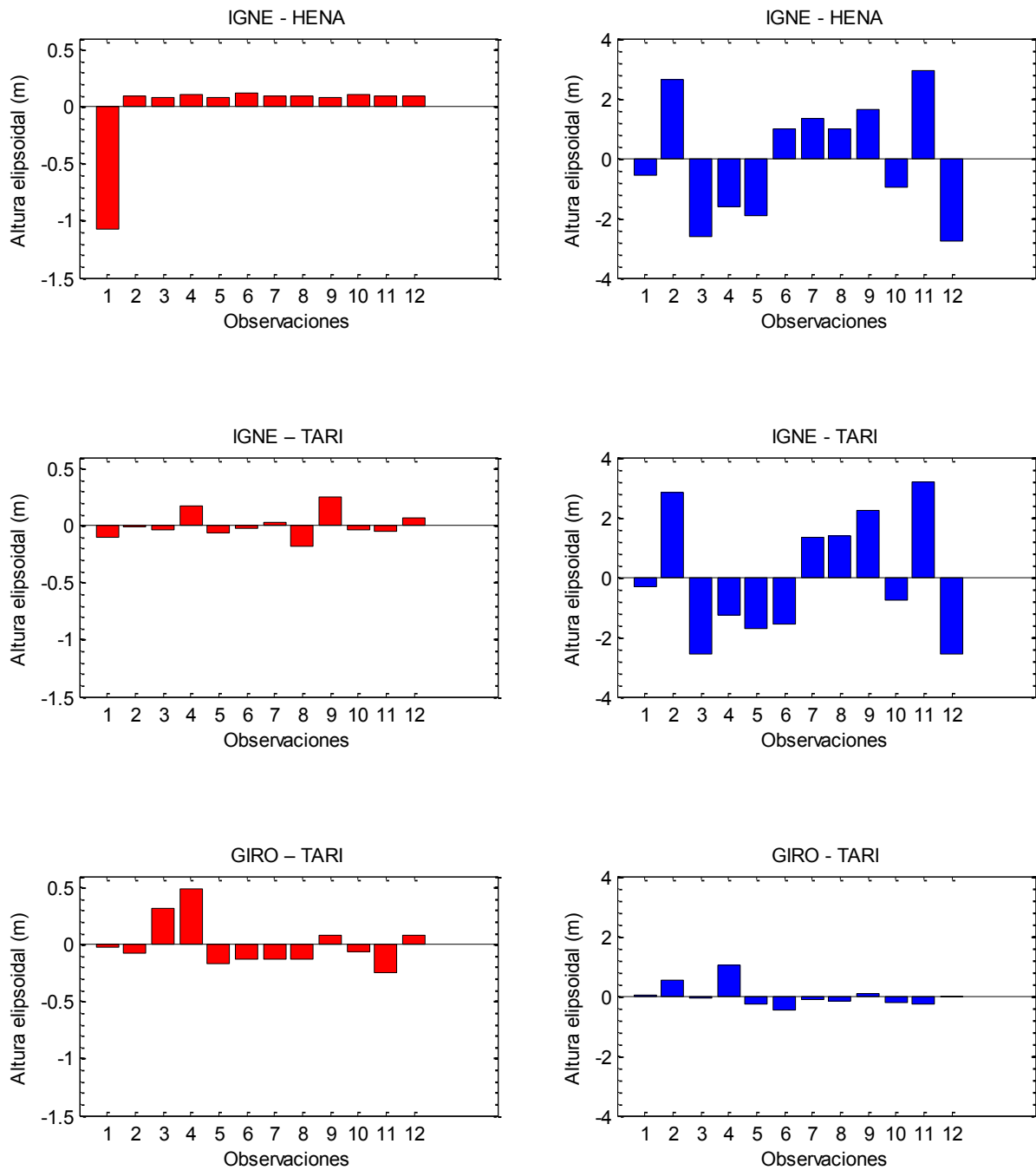
Resultados de los cálculos de las líneas base con efemérides transmitidas GLONASS.



**Figura 4.12** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

### 4.3.2 Efemérides transmitidas GPS

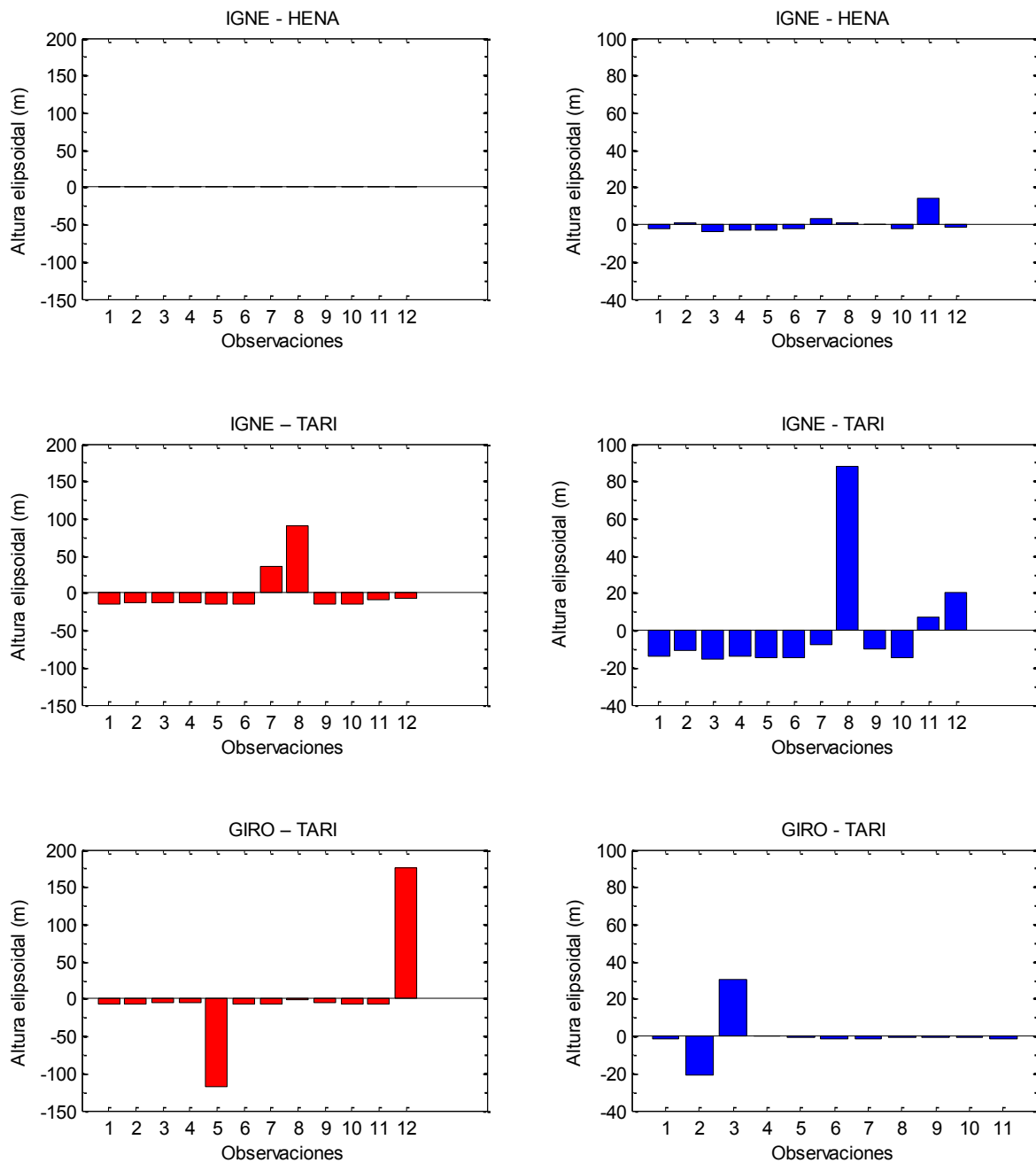
Posicionamientos calculados con efemérides transmitidas GPS.



**Figura 4.13** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

### 4.3.3 Efemérides transmitidas GPS + GLONASS

Combinación de las efemérides transmitidas de ambas constelaciones.



**Figura 4.14** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides transmitidas de las constelaciones GPS y GLONASS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora. Los resultados de la sesión de 3 h de la distancia IGNE - HENA no se aprecian en el gráfico por ser inferiores a 5 cm.

### 4.3.4 Efemérides ultrarrápidas (IGU)

Resultados de los cálculos utilizando efemérides ultrarrápidas GPS.

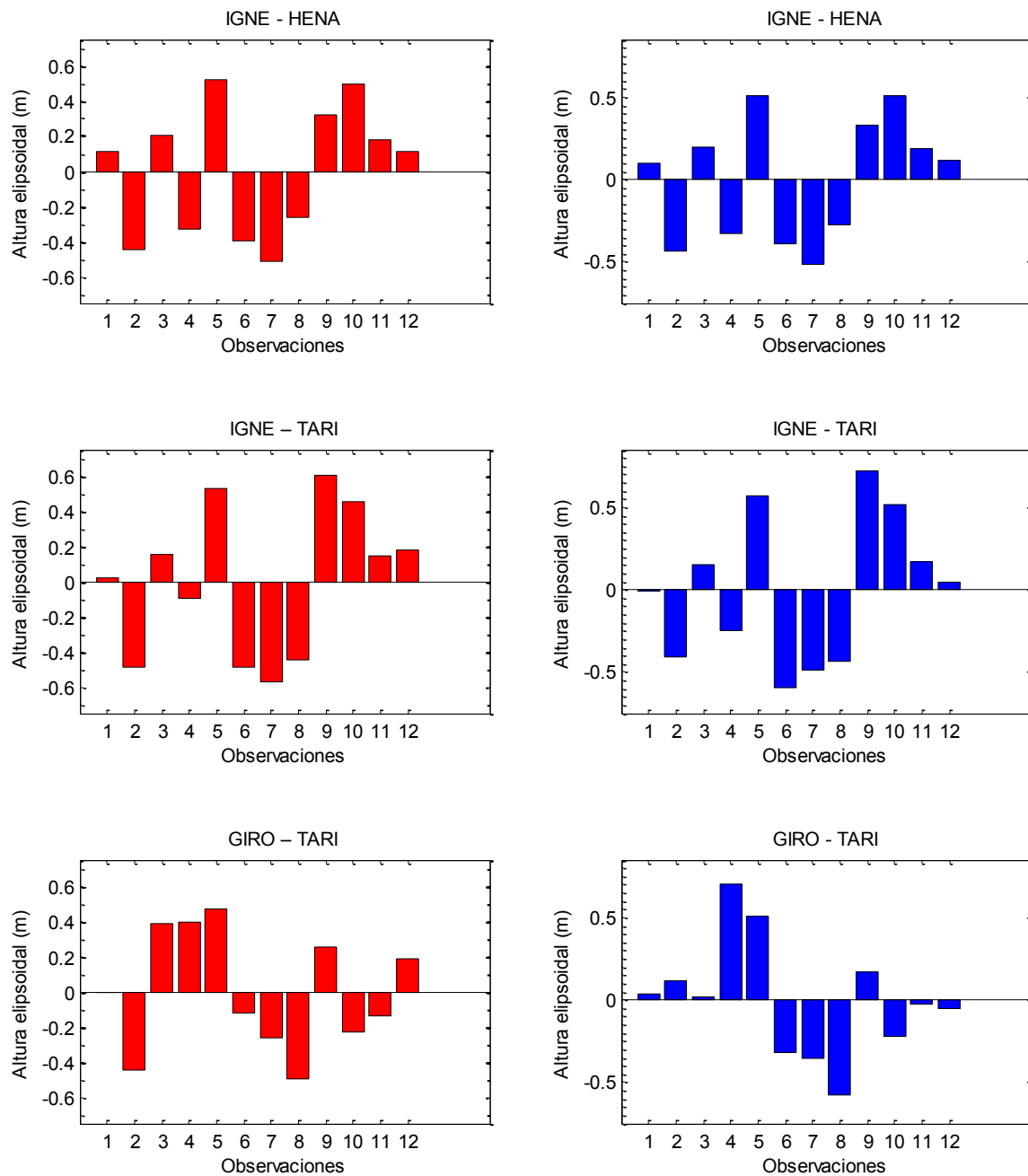
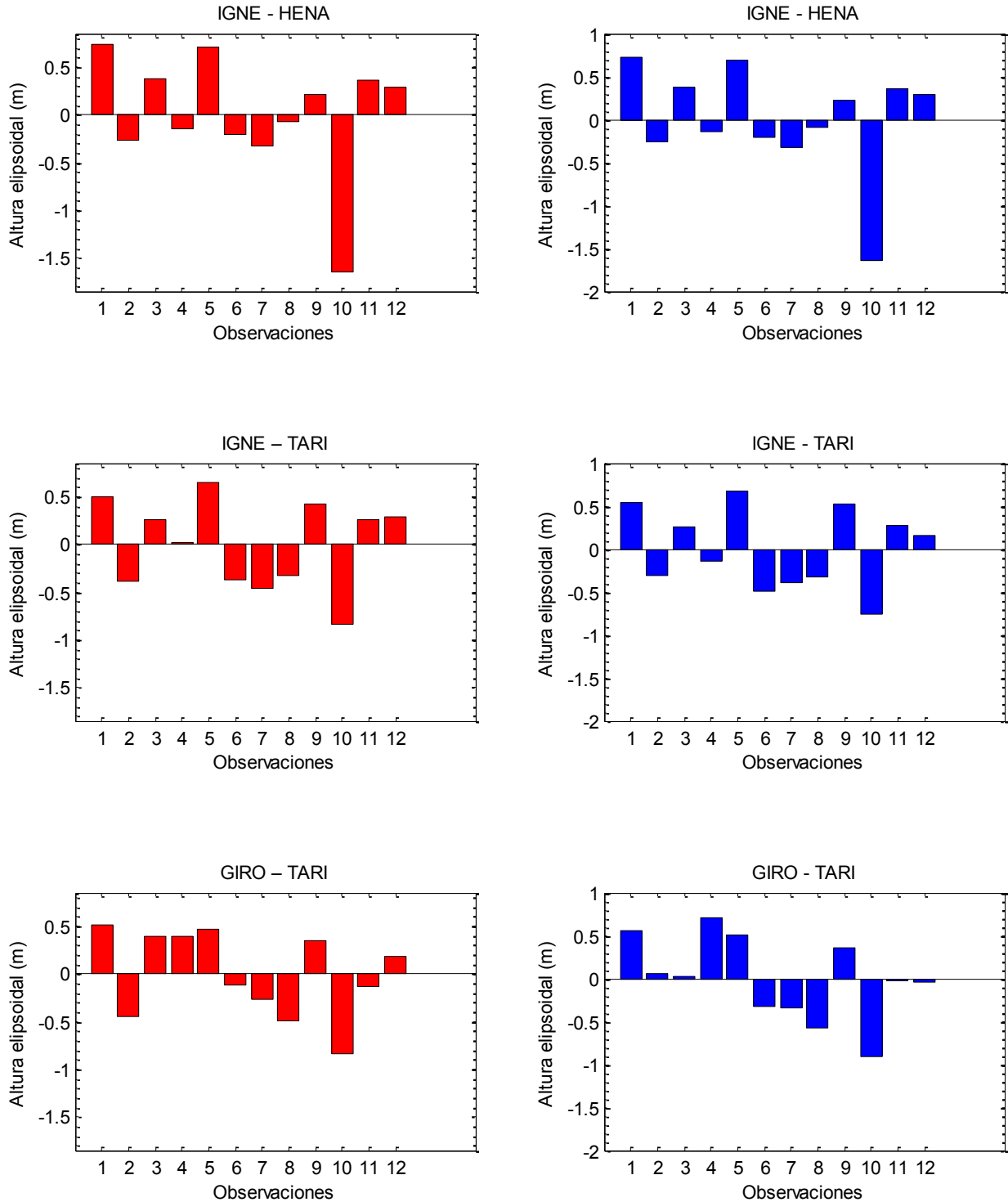


Figura 4.15 Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul la de 1 hora.

### 4.3.5 Efemérides ultrarrápidas IGV sólo GPS

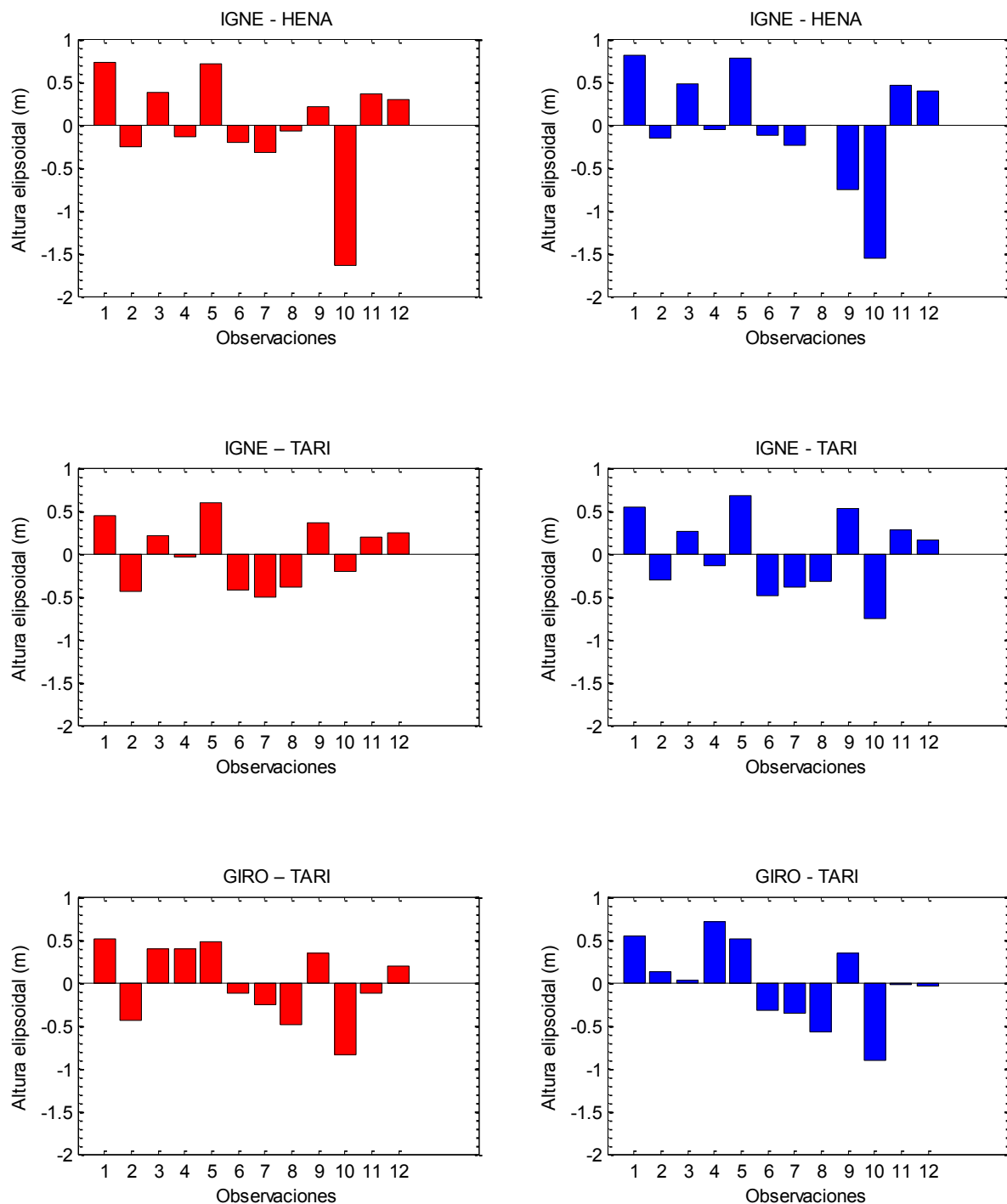
Posicionamientos calculados empleando sólo los satélites GPS de las efemérides ultrarrápidas con información de ambas constelaciones.



**Figura 4.16** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. Para este cálculo sólo se han utilizado satélites GPS. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

### 4.3.6 Efemérides ultrarrápidas IGV GPS y GLONASS

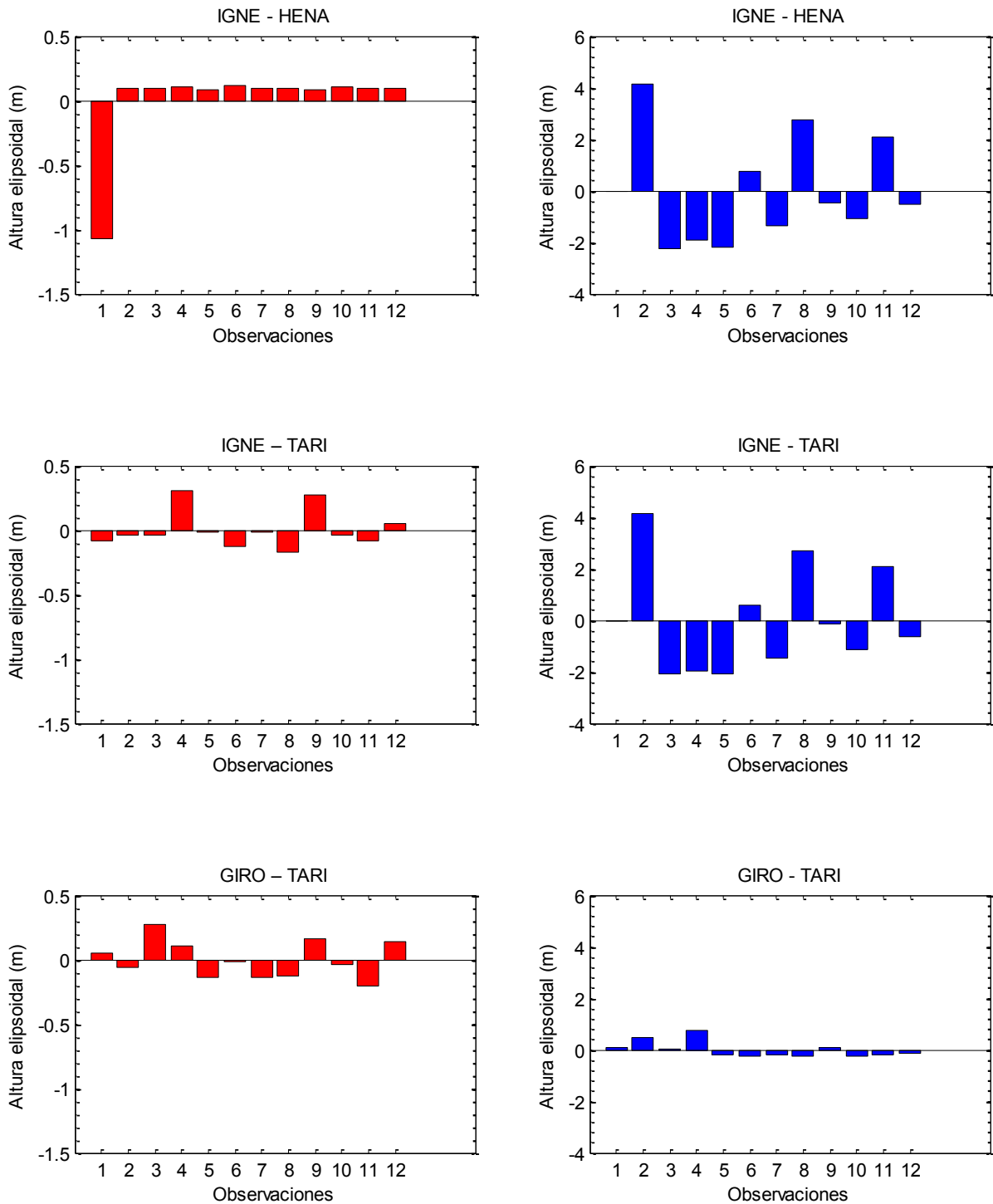
Resultados de los cálculos con efemérides ultrarrápidas, utilizando los satélites de las dos constelaciones.



**Figura 4.17** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides ultrarrápidas de las constelaciones GLONASS y Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

### 4.3.7 Efemérides rápidas (IGR)

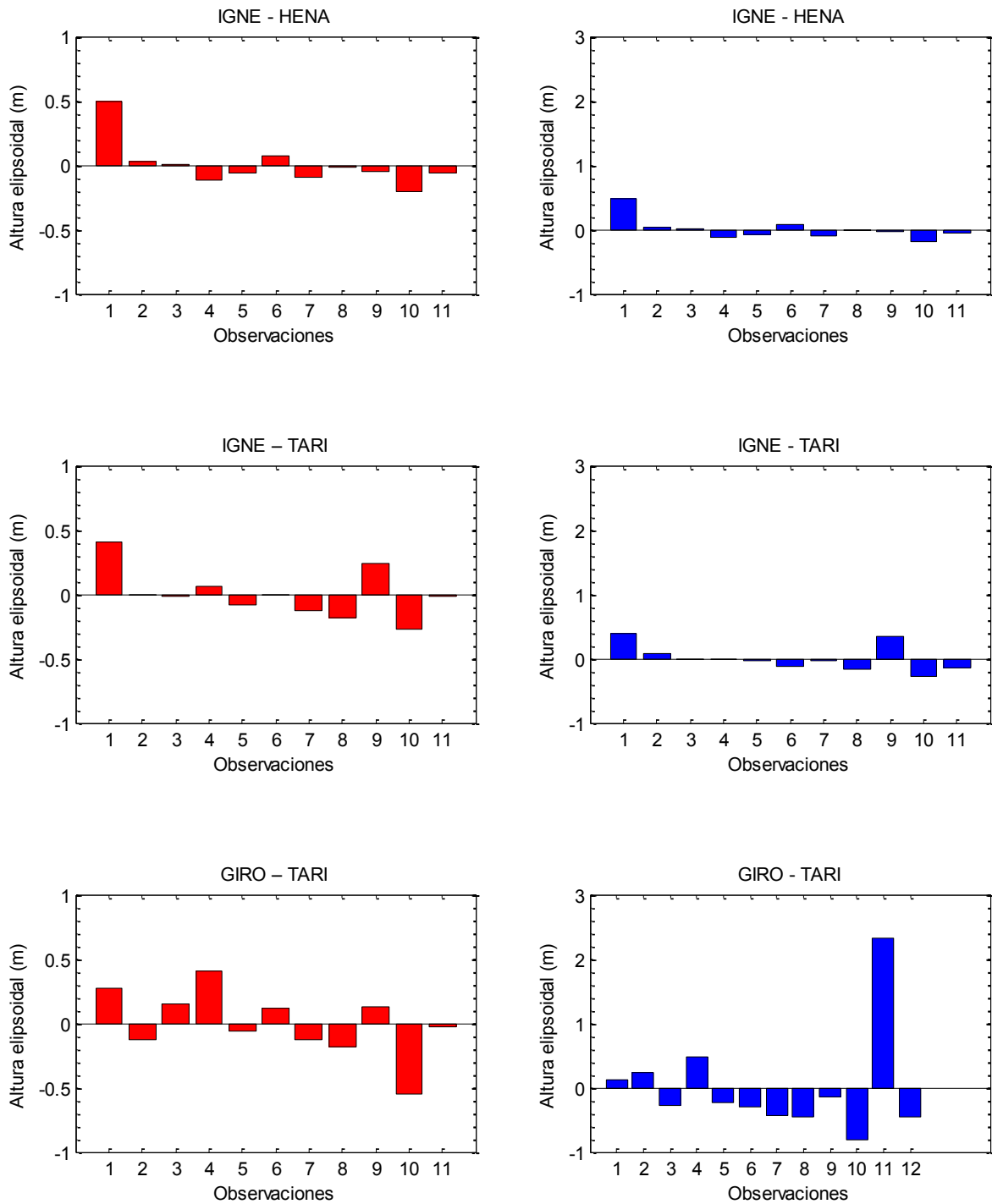
Cálculos realizados con efemérides rápidas con información de satélites GPS. La solución del primer mes de la distancia IGNE - HENA en sesión de 3 h, no se puede desechar por ser menor, aunque con un valor muy próximo a la incertidumbre máxima.



**Figura 4.18** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides rápidas de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

### 4.3.8 Efemérides del Jet Propulsion Laboratory

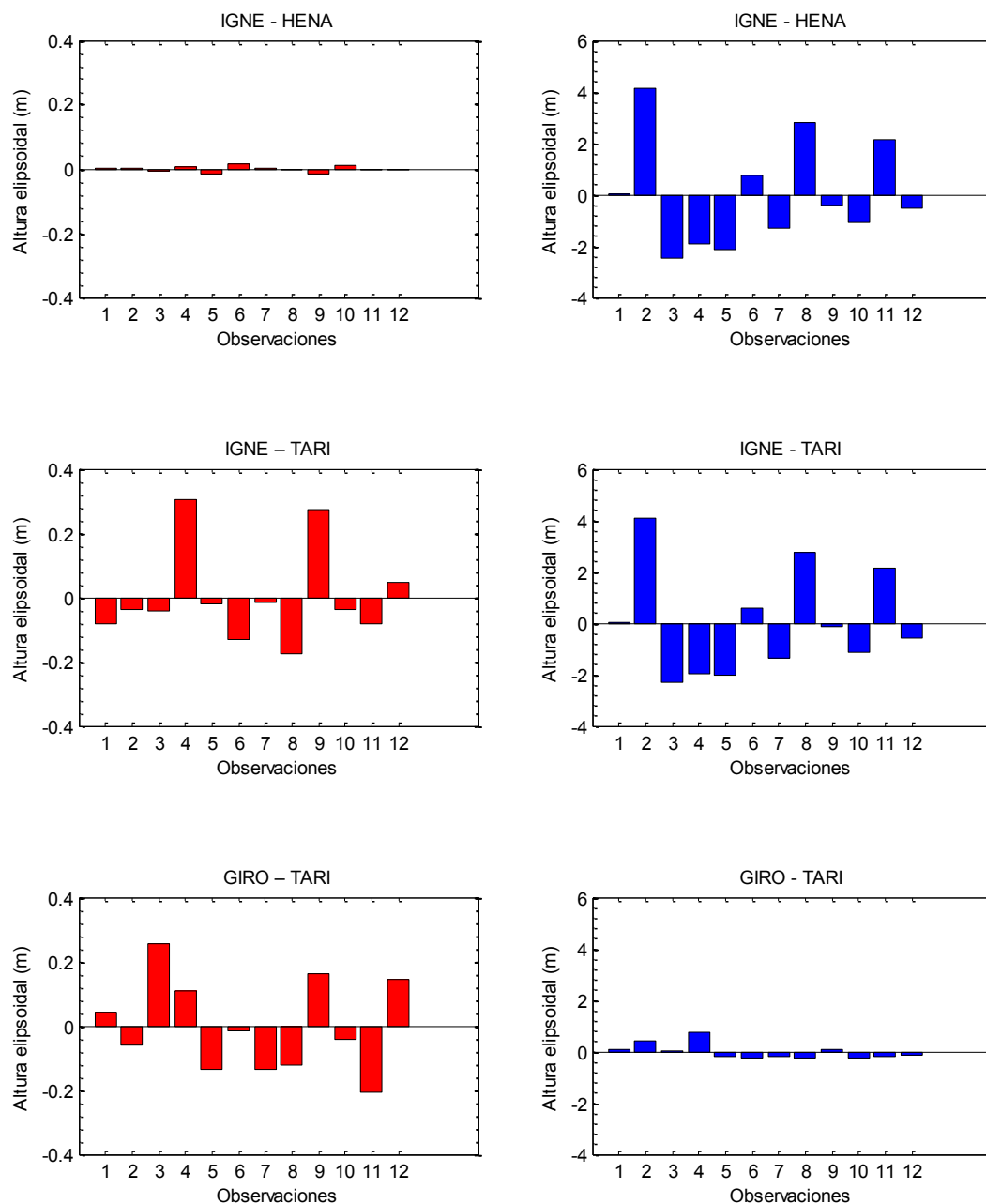
Resultados de las efemérides GPS calculadas por el centro regional JPL.



**Figura 4.19** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

### 4.3.9 Efemérides finales (IGS)

Posicionamientos calculados empleando efemérides finales GPS.

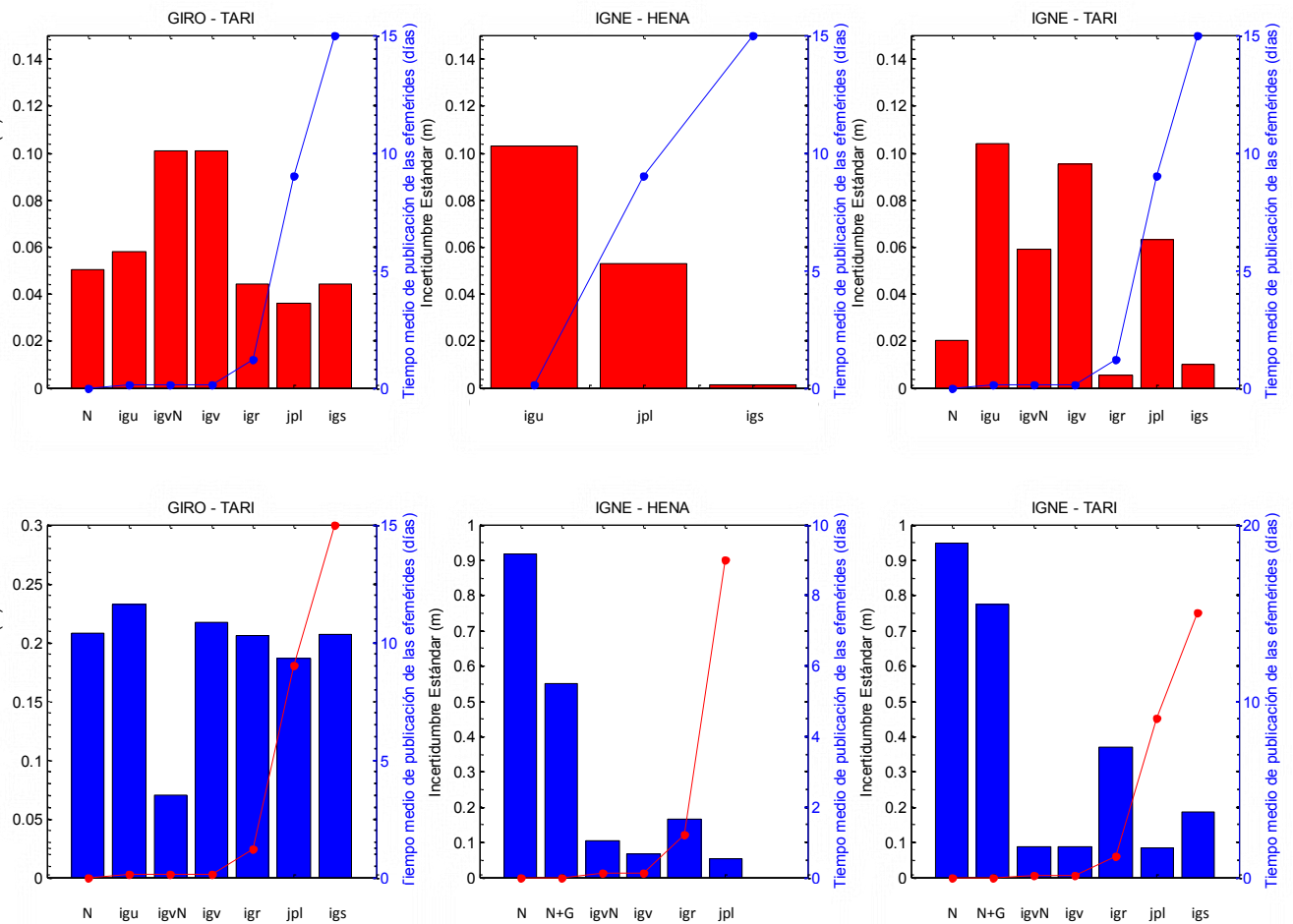


**Figura 4.20** Resultados altimétricos de los cálculos de las distancias empleando efemérides finales de la constelación Navstar. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

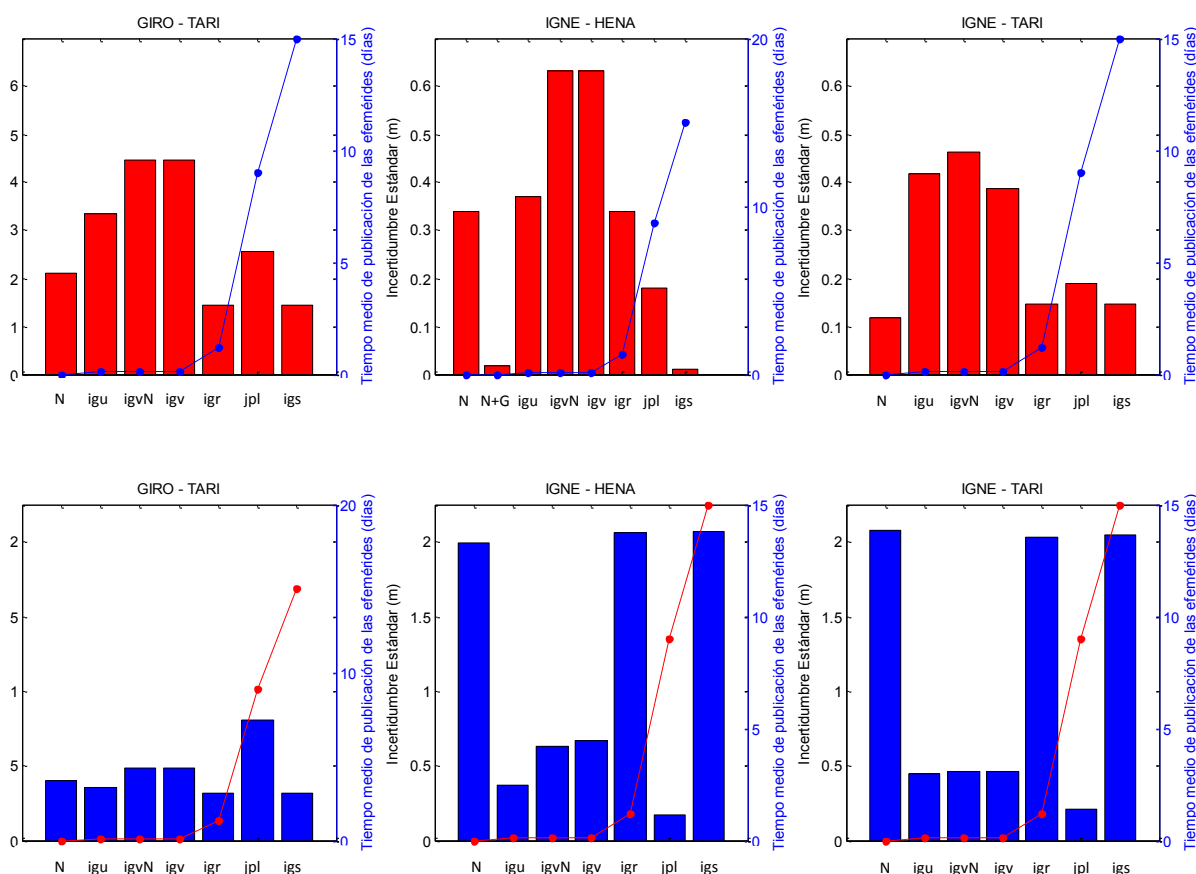
- Al igual que sucede en planimetría, los resultados de las efemérides transmitidas de GLONASS (G) no son aptos para el uso en el campo de la Geomática por sus incertidumbres de centenares de metros.
- Las soluciones calculadas con efemérides transmitidas mejoran con la distancia.
- Los resultados de las efemérides transmitidas de la constelación Navstar (N) son mejores que los de las homólogas rusas, pero las incertidumbres submétricas (20 cm) sólo se alcanzan con sesiones de 3 h.
- Con la combinación de efemérides de ambas constelaciones, igual que en planimetría, se obtienen resultados más precisos que utilizando solamente GLONASS, pero no tan precisos como cuando se utiliza únicamente Navstar. Por lo que las efemérides GLONASS no se pueden utilizar ni siquiera combinándolas con GPS.
- La incertidumbre mejora al emplear efemérides ultrarrápidas (IGU), cuyos resultados apenas varían entre las sesiones de 1h y las de 3h (40 cm). No se llegan a alcanzar las incertidumbres conseguidas con las transmitidas de GPS en las observaciones de 3 h.
- Las soluciones del resto de efemérides ultrarrápidas no consiguen lograr las incertidumbres de las anteriores. Tanto en las sesiones de 1 hora como en las de 3 horas, IGV-N e IGV son prácticamente idénticas (52 cm). Al contrario que en planimetría, la incertidumbre es peor en los resultados de las IGV-N que en los de las IGU.
- En las sesiones de 1 h los resultados de las efemérides rápidas (IGR) son peores que los de las efemérides ultrarrápidas, con incertidumbres de 1.5 m, siendo muy similares a los de las transmitidas de GPS. Este resultado inesperado contrasta con el equivalente en planimetría, en el que las precisiones de las efemérides IGR son del orden de las ultrarrápidas. Las sesiones de 3 horas dan lugar a resultados mejores que los de cualquiera de las ultrarrápidas, siendo también muy parecidos a los de las transmitidas GPS, con valores en torno a los 21cm.
- Cinco de los seis valores atípicos altimétricos corresponden a efemérides del JPL. Estas 5 soluciones pertenecen a observaciones del mismo día, una distribución de los valores atípicos muy parecida a la de los resultados planimétricos de esta misma efeméride. Los resultados de las sesiones de 1 hora son de la misma magnitud que los de las efemérides ultrarrápidas IGU. En cambio en las observaciones de 3 h los resultados son algo peores que los de las ultrarrápidas, estando en casi cualquier caso por debajo de los 50 cm.
- Las efemérides finales (IGS) son las que generan cálculos más precisos. Sus resultados son prácticamente iguales que los de las efemérides rápidas (IGR) sólo que corregidos de algún error grosero. Las observaciones de 3h logran una incertidumbre mejor que 30 cm. En las sesiones de 1 h las incertidumbres calculadas se diferencian en milímetros a las homólogas de las rápidas (IGR), lo que es despreciable para la mayoría de trabajos topográficos.

## 5 CONCLUSIONES

- Tras el análisis de resultados se concluye que las mejores efemérides para cálculos GNSS de aplicación topográfica son las rápidas (IGR) ya que su precisión apenas es mejorada por las efemérides finales (IGS) y porque se publican con más de 10 días de diferencia. Se pueden utilizar efemérides finales cuando existan sospechas de que la solución generada por las efemérides rápidas corresponda con un valor atípico o cuando se pueda esperar a su publicación para tener la solución. También son importantes las efemérides finales en trabajos donde se necesite la máxima precisión disponible, como en geodesia, geofísica o geodinámica.



**Figura 5.1** Comparación planimétrica entre la incertidumbre estándar de cada efeméride con el tiempo que tarda ese tipo de efeméride en estar disponible. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.



**Figura 5.1** Comparación altimétrica entre la incertidumbre estándar de cada efeméride con el tiempo que tarda ese tipo de efeméride en estar disponible. En rojo se muestran las sesiones de 3 horas y en azul las de 1 hora.

- En el caso de que no se pueda esperar a la publicación de las efemérides rápidas, o se quiera obtener una solución con menos precisión, lo mejor es optar por las efemérides ultrarrápidas. Como se han detectado numerosos valores atípicos en este tipo de efemérides y además unas son mejores para altimetría y otras para planimetría, lo más adecuado es contrastar los resultados de ambas, IGU e IGV.
- La utilización de efemérides transmitidas es poco recomendable. A pesar de que los resultados de las efemérides de la constelación GPS han sido sorprendentemente precisos, las coordenadas de los satélites no dejan de ser predicciones, por lo que no son tan fiables.
- Normalmente, trabajando con GNSS, la precisión altimétrica es 2.5 veces peor que la planimétrica. En este proyecto el valor es 3.4, pero tras eliminar los valores atípicos se eleva hasta 6.1.

---

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Material de la asignatura Aplicación GNSS a la Geomática (2014). Prieto, J. F. y Velasco, J. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Material de la asignatura Geodesia Geométrica (2013). Staller, A.; Velasco, J. y Prieto, J. F. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Material de la asignatura Geofísica (2014). Benito, M. B. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Material de la asignatura Geodesia Física y Espacial (2015). Bethencourt, A. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Material de la asignatura Topografía I (2010). Chueca, R. M.; Benito, J. M.; Caturla, R.; Fernández, T. y Olmedo, F. J. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Berné, J. L.; Anquela, A. B.; Garrido, Natalia. (2013). GPS: fundamentos y aplicaciones en Geodesia y Topografía. Universidad Politécnica de Valencia.
- García, J. L.; Ruiz, A. M. y Mesa, J. L. (2011). Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica. Mapping 149.
- Valbuena, J.L. (2010). Microgeodesia. Fuentes de error en EDM. Verificación y contrastación. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Göbel, E; Mills, I. y Wallard, A. (2006). Resumen del Sistema Internacional de Unidades, el SI. BIPM
- Seeber, G. (2003). Satellite Geodesy. Walter de Gruyter.
- IGS <https://igsceb.jpl.nasa.gov/>  
[ftp://igs.org/pub/resource/pubs/IGS08\\_The\\_IGS\\_Realization\\_of\\_ITRF2008.pdf](ftp://igs.org/pub/resource/pubs/IGS08_The_IGS_Realization_of_ITRF2008.pdf)
- CODE  
[http://www.aiub.unibe.ch/content/research/satellite\\_geodesy/gnss\\_research/index\\_eng.html](http://www.aiub.unibe.ch/content/research/satellite_geodesy/gnss_research/index_eng.html)
- KASI <http://www.kasi.re.kr/english/Research/SpaceGeodesyGroup.aspx>
- CDDIS <http://cddis.nasa.gov>
- SOPAC <http://sopac.ucsd.edu/>
- IGN español <http://www.ign.es>
- IGN francés <http://www.ign.fr/>
- ITRF [http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2008/doc/ITRF2008\\_GNSS.SSC.txt](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/doc/ITRF2008_GNSS.SSC.txt)
- MCC <http://www.mcc.rsa.ru/English/cup.htm>
- AUSLIG <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/gnss-networks>

- GDC <http://igs.bkg.bund.de/>
- HRAO <http://www.hartrao.ac.za/>
- NGA  
<https://www.nga.mil/ProductsServices/GeodesyandGeophysics/Pages/WorldGeodeticSystem.aspx>
- IERS <http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html>
- UNOOSA [http://www.unoosa.org/pdf/icg/2012/template/PZ90-02\\_v2.pdf](http://www.unoosa.org/pdf/icg/2012/template/PZ90-02_v2.pdf)
- ILRS <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/missions/index.html>
- Visor de redes GNSS <http://ntrip.rep-gnss.es/>
- Red GNSS CAM  
<http://www.madrid.org/cartografia/planea/cartografia/html/web/VisorGps.htm>
- SPATIAL-ED <http://www.spatial-ed.com/datums/datums-basics/518-igs08.html>

Trabajos Fin de Grado consultados:

- Rodríguez, G. (2015). Análisis de precisiones obtenidas en el posicionamiento con equipos mobile mapping y GNSS

Proyectos Fin de Carrera consultados:

- García, J. y Rodríguez, A. (2013). Conexión Villaviciosa de Odón con polígono Ventorro del Cano y futuras conexiones con M-40 y M-50.
- De Vera, M. (2008). Levantamiento taquimétrico a escala 1:500 del sector norte del parque lineal de Palomeras y generación de su modelo digital del terreno.