

A satellite with large solar panels is shown in space, with the Earth's horizon visible in the background. The satellite is angled towards the viewer, and its solar panels are extended. The Earth shows blue oceans and white clouds.

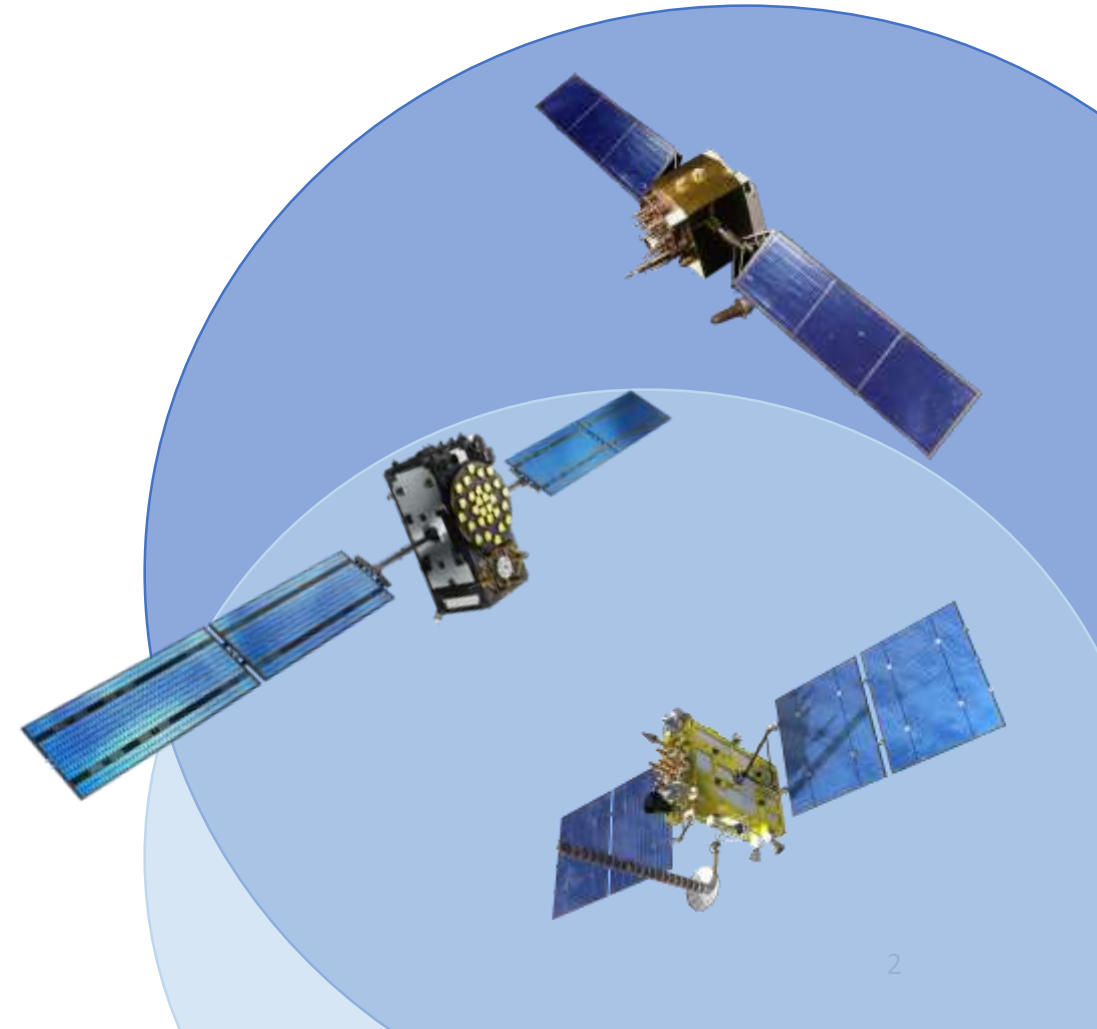
COMPARACIÓN DE SEÑALES Y RECEPTORES GNSS

Sistemas de Ayuda a la Navegación
4ºGIA

María Rodríguez González, 15442309-V
Débora García Jiménez, 29533144-V

¿Qué se trata en el trabajo?

1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger
 - Receptor W7813 y Galileo PVT
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía



1. Introducción

- En el proyecto se llevará a cabo una toma de medidas con ayuda de un receptor facilitado en clase y dos aplicaciones móviles. De esta forma se podrán comparar resultados y exactitudes asociadas a cada sistema. Así mismo, se tendrá en cuenta el efecto del filtro de Kalman.
- El análisis se estructura en dos medidas distintas debido a la imposibilidad de hacer uso de las dos aplicaciones móviles a la vez (incompatibilidad entre las mismas).

¿Qué se trata en el trabajo?

1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger
 - Receptor W7813 y Galileo PVT
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía

2. Reseña teórica sobre los principales GNSS

GPS:

- 24 Satélites repartidos en 6 órbitas.
- Altitud: 20200Km
- Periodo de 12 horas sidéreas
- Inclinación de 55°
- Las señales se emiten en las bandas L1 (1575,42 MHz) y L2 (1227,6MHz).
- Precisión:
 - Inferior a 2,5m (95% del tiempo): si capta la señal de 7-9 satélites
 - Inferior a 1m (97% del tiempo): con sistemas de aumentación



GPS IIR	GPS IIR-M	GPS IIF	GPS III
<ul style="list-style-type: none">▪ 13 satellites launched 1997-2004▪ Design life: 7.5 years▪ Status: 11 satellites still operational▪ Frequencies: L1, L2▪ Increased signal reliability▪ Reprogrammable processors onboard	<ul style="list-style-type: none">▪ 8 satellites launched 2005-2009▪ Design life: 7.5 years▪ Status: 7 satellites still operational▪ L2C Civilian signal added▪ L1M and L2M Military signals added▪ Anti-jam flex power	<ul style="list-style-type: none">▪ 12 satellites launched 2010-2016▪ Design life: 12 years▪ Status: 12 satellites still operational▪ L5 safety-of-life signal added▪ New M-code signal added▪ Better resistance to jamming▪ Reprogrammable processors can receive software uploads	<ul style="list-style-type: none">▪ 10 satellites under contract▪ Design life of 15 years▪ 3 times more accurate▪ 8 times improved anti-jam capability▪ L1C Global Navigation Satellite Systems (GNSS) compatibility▪ Proven compatible with the current GPS constellation and the OCX ground control segment▪ Evolves to incorporate new technology and changing mission needs

GPS IIIF

- 22 satellites under contract
- Search and Rescue, Laser Reflector Array and Digital Payload at SV 11+

GLONASS:

- 31 Satélites colocados en 3 planos orbitales
- Altitud 19100Km
- Periodo de 11 horas y 15 minutos
- Inclinação 64.8°
- Transmisión de la señal en la banda L1 (1598.0625-1605.375 MHz) y la banda L2 (1242.9375-1248.625 MHz)→TDMA

GLONASS CONSTELLATION

Generation and transmission of navigation signals

Orbit: circular, $H=19140$ km, $i=64.8$ degrees

Constellation: 24 operational satellites in 3 planes (8 satellites per plane)

**Glonass
1982**



**Glonass-M
2003**



**Glonass-K
2011**

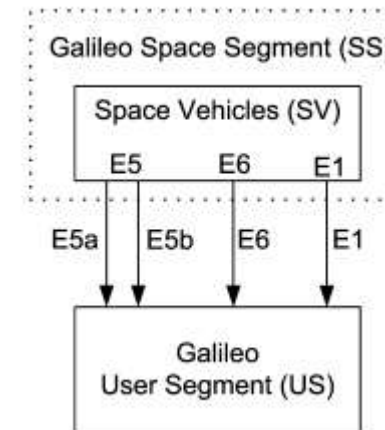
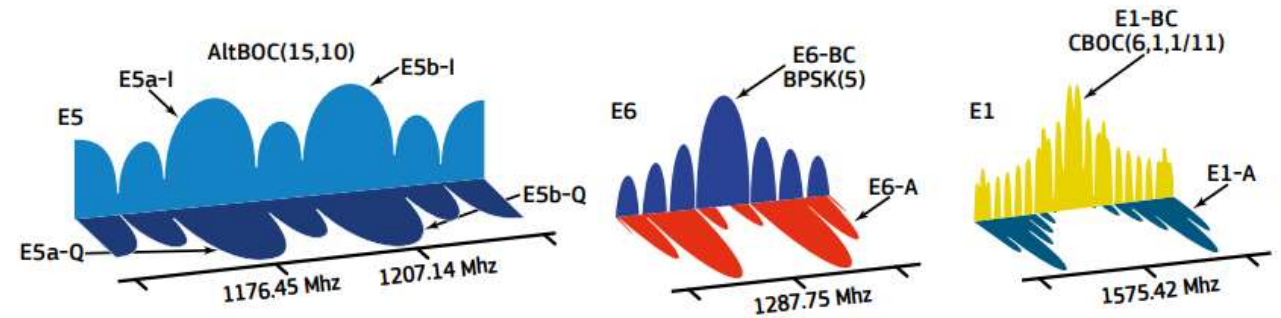


**Glonass-K2
2018**



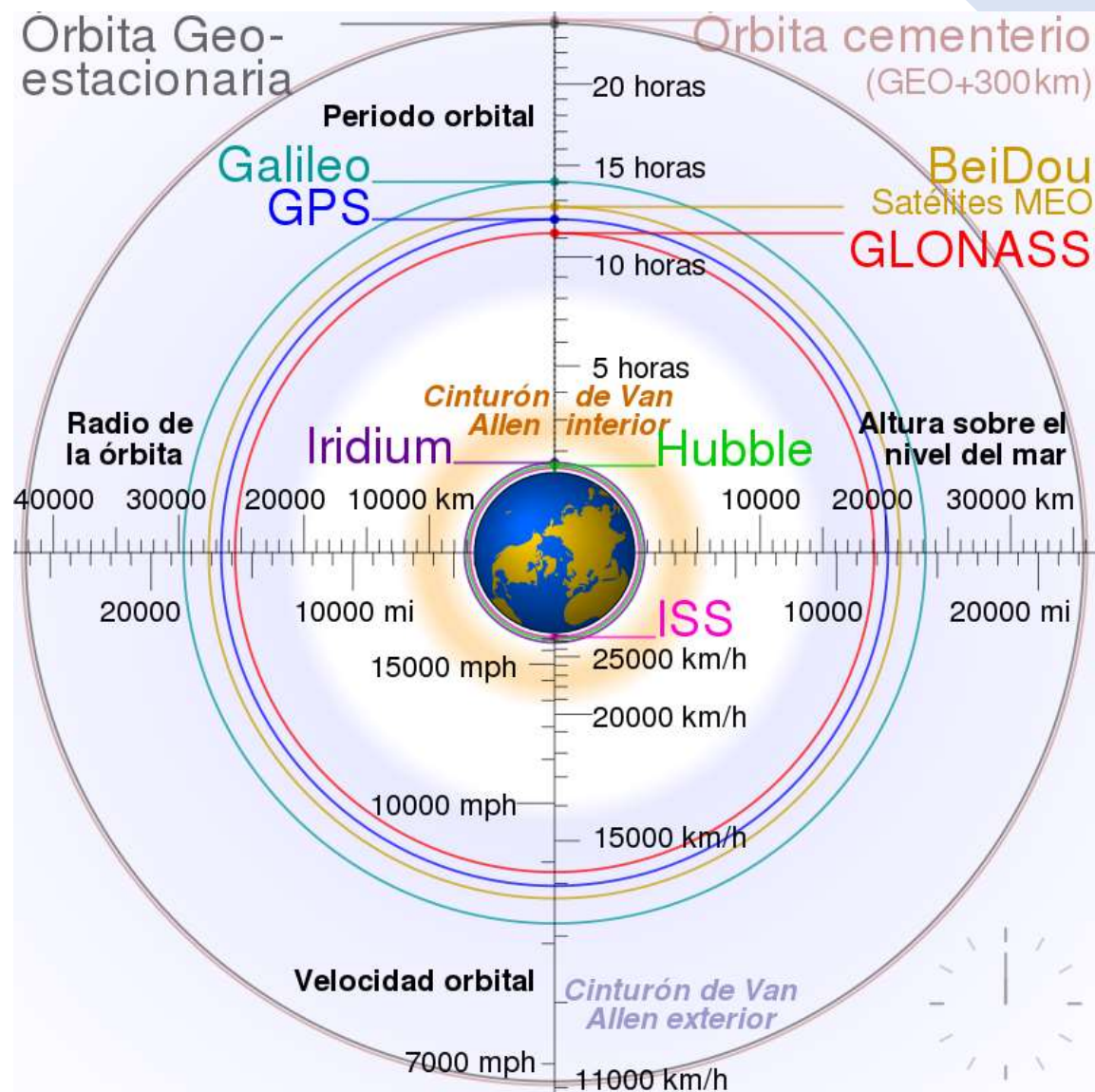
GALILEO:

- 30 Satélites distribuidos en 3 planos
- Altitud: 23222 Km
- Periodo: 14 horas
- Inclinación: 56°
- Transmisión de la señal en las bandas: E5A-E5B, E6 y L1.



Parámetro	GPS	GLONASS	Galileo
Frecuencia fundamental del reloj (MHz)	10.23	5	10.23
Técnica de separación de señales	CDMA	FDMA	CDMA
Portadoras (MHz)	1575.42 (L1) 1227.60 (L2) 1176.45 (L5)	1602 + k*9/16 (L1) 1246 + k*7/16 (L2) (k=-7, ...,4)	1176.45 (E5a) 1207.14 (E5b) 1278.75 (E6) 1544.10 (L6) 1575.42 (E1)
Referencia de tiempo	UTC	UTC	TAI
Elipsoide de referencia	WGS84	PZ-90	GTRF

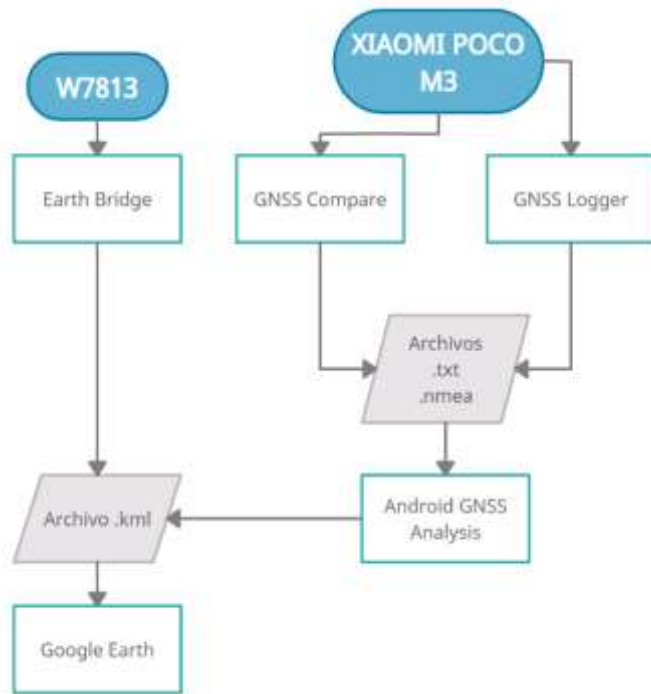
Parámetro	GPS		GLONASS		Galileo	
Cobertura	Global	Local	Global	Local	Global	Local
Precisión: Horizontal (H) Vertical (V)	H< 20m V<20m	Con EGNOS: H<1m V<2m	H<50m V<70m	Similar a GPS	Frecuencia dual: H=4m V=8m	Con EGNOS: H<1m V<1m
Disponibilidad	95%	95-99.7%	99.7%	99.7%	99.8%	99.8%
Integridad	No	Sí	No	Sí	No	Sí



¿Qué se trata en el trabajo?

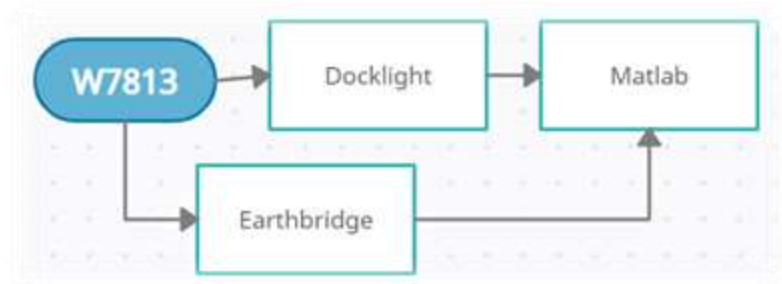
1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger
 - Receptor W7813 y Galileo PVT
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía

3. Contenido práctico: Toma de medidas



Para la toma de medidas se ha utilizado el receptor W7813 y el móvil Xiaomi POCO M3.

En el itinerario de formatos se muestra el procedimiento llevado a cabo para procesar los archivos resultantes de las distintas aplicaciones empleadas.



La antena asociada al receptor W7813 se ha colocado en la parte superior externa del coche para captar datos durante el trazado de la ruta.



¿Qué se trata en el trabajo?

1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger**
 - Receptor W7813 y Galileo PVT
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía

Receptor W7813 y GNSS Logger

Visualización de la ruta a partir de los dos receptores

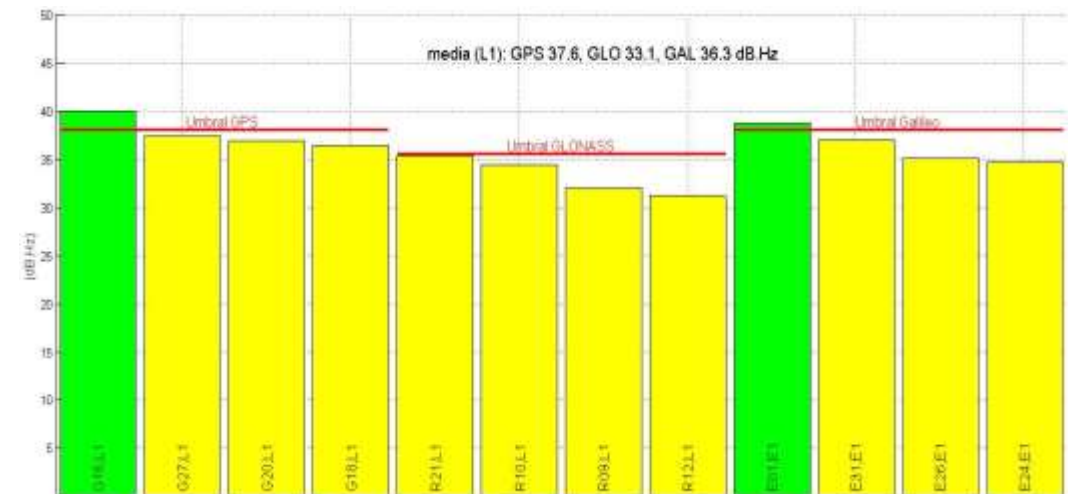


La señal se considera de calidad cuando sobrepasa el umbral:

✓ GPS, Galileo

✗ GLONASS

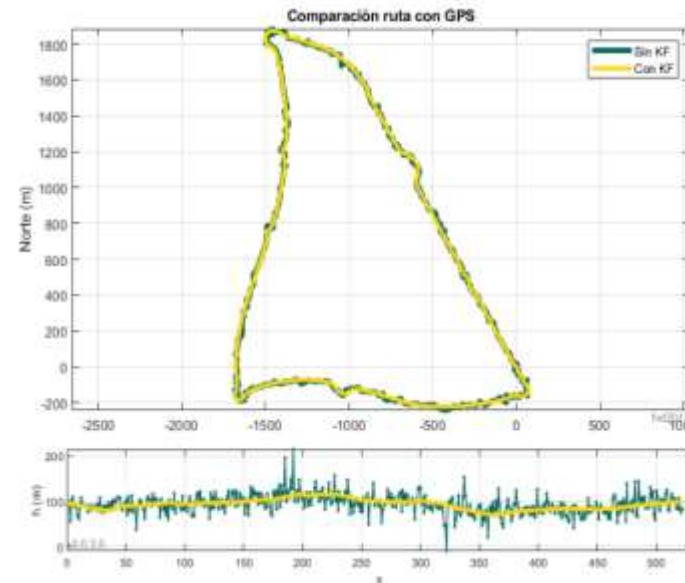
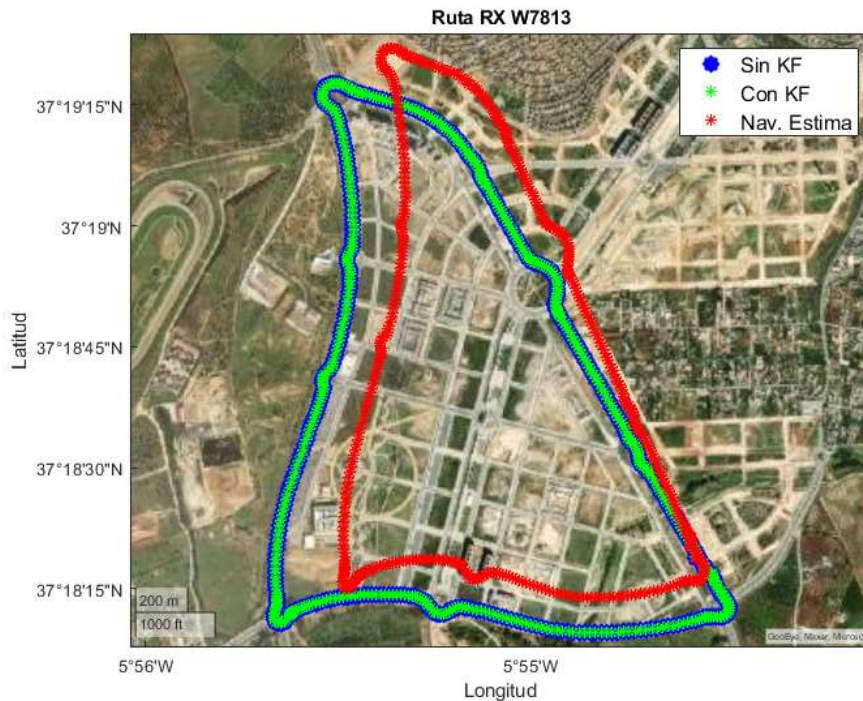
La trayectoria se solapa para los sistemas GPS (verde para W7813 y amarillo para la aplicación) y Galileo (azul). Sin embargo, se pueden apreciar variaciones significativas con GLONASS (rosa). Esto se debe a la calidad de la señal recibida:



➔ Representación de la ruta con archivos .kml en Google Earth.

Efecto del Filtro de Kalman

Se comprueba en el RX W7813 la diferencia entre la ruta original, la ruta aplicando el Filtro de Kalman y la trayectoria simulada mediante navegación a la estima.



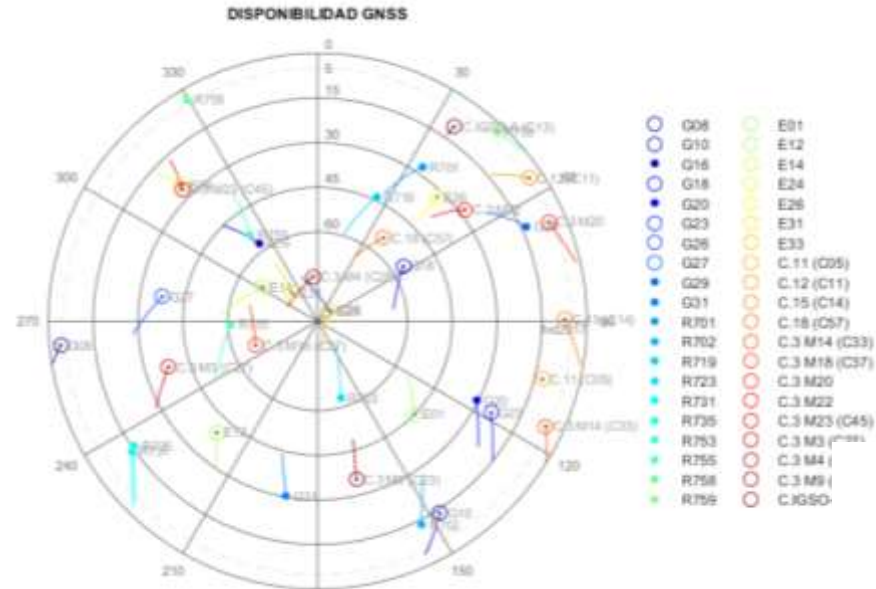
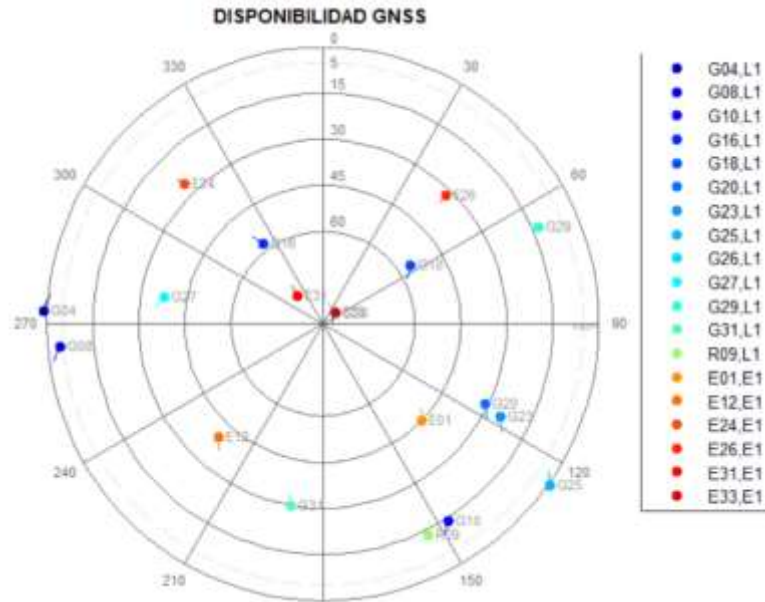
Para el caso del receptor móvil, se observa una mejora tanto en el plano horizontal como en el vertical.



GPS	Nº.fix	Error horizontal (m)	Along-track error (m)	Cross-track error (m)	Error vertical (m)
Sin KF	523	(7.1, 18.6)	(4.2, 13.5)	(4.2, 14.9)	(10.8, 39.1)
Con KF	522	(4.5, 9.1)	(2.9, 8.3)	(2.3, 5.6)	(5.5, 9.3)

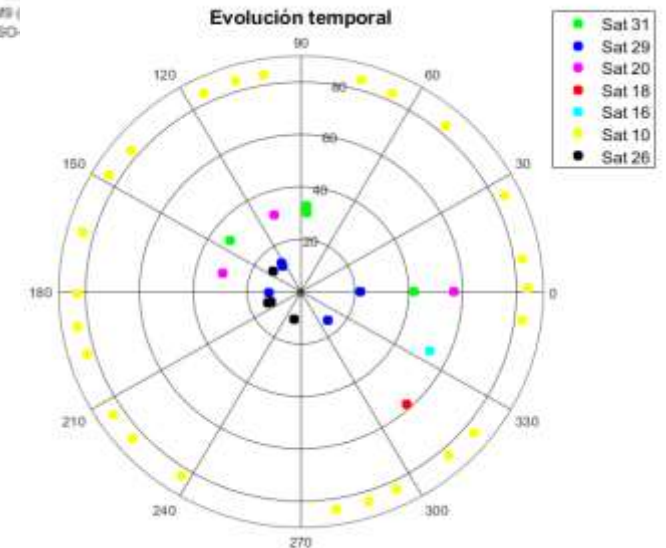
**Nota: El estudio referente al resto de los sistemas se incluye de forma más extendida en la memoria.*

Satélites visibles durante la ruta



Satélites captados por GNSS Logger justo en el momento inicial y en el final, respectivamente.

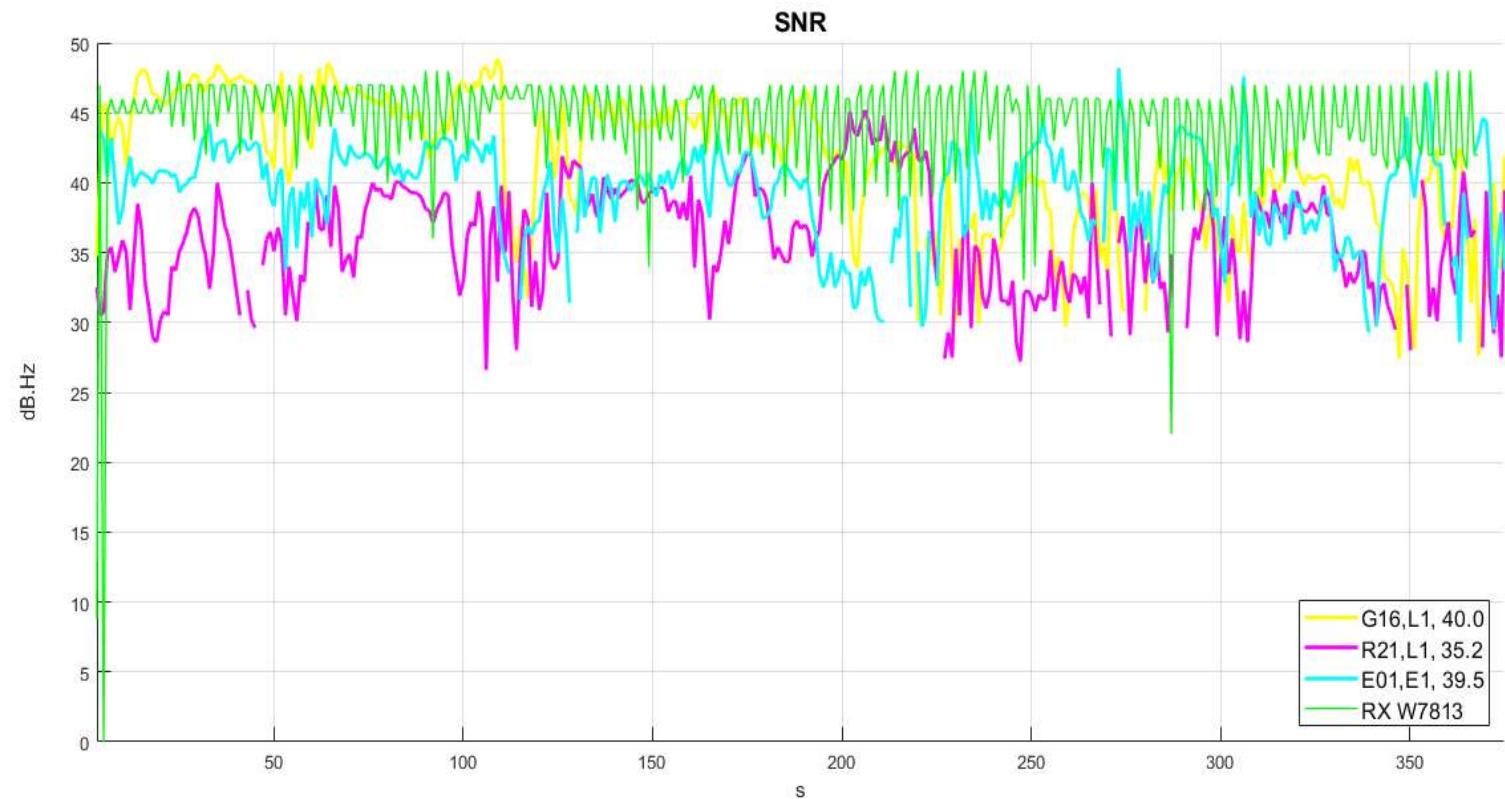
Evolución temporal de los satélites usados por el RX W7813 durante la trayectoria.



Comparativa SNR de los satélites con mayor elevación

Gracias a esta gráfica se puede comprobar la mayor extensión del sistema GPS, así como la estabilidad en las medidas del RX W7813 (verde).

→ Representándose también los sistemas Galileo (azul) y GLONASS (rosa). El peor resultado se obtiene para este último, que presenta una menor relación de potencia de señal transmitida con respecto al ruido.



¿Qué se trata en el trabajo?

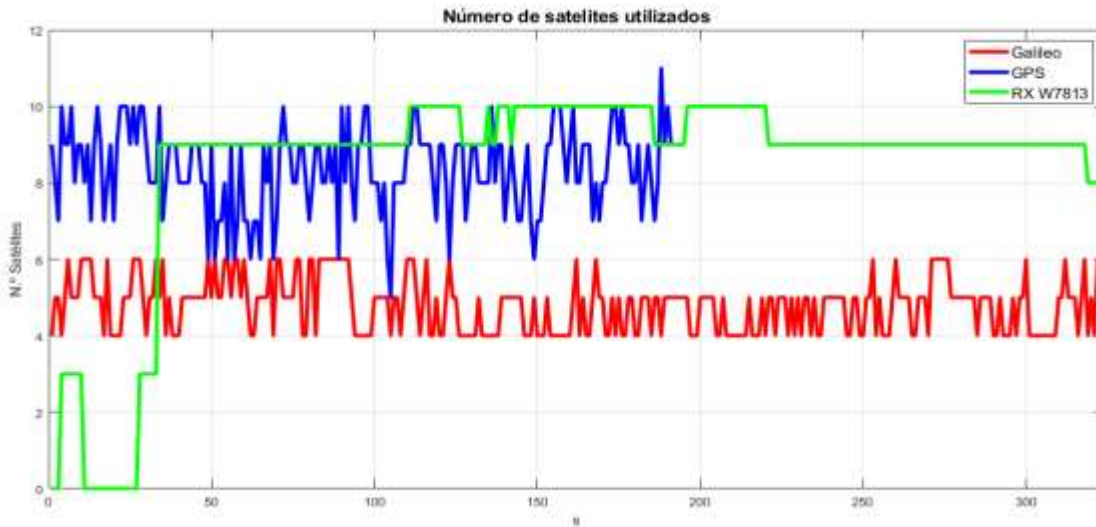
1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger
 - Receptor W7813 y Galileo PVT**
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía

Receptor W7813 y Galileo PVT

Número de satélites utilizados y PDOP

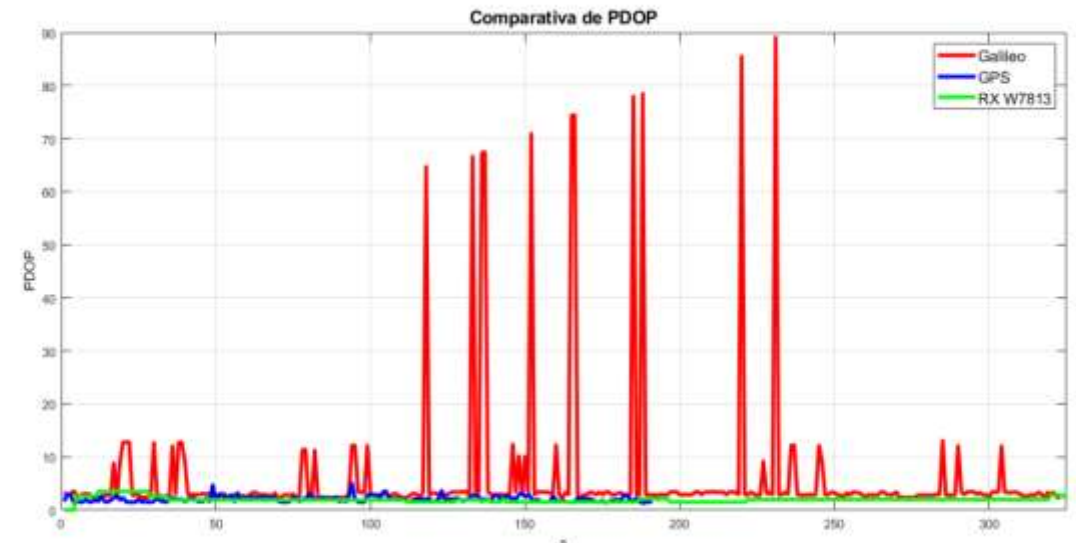
Se puede comprobar, en paralelo, la implicación que tiene el número de satélites usados por el receptor sobre el error de posicionamiento.

GPS se encuentra más extendido, por lo que presentará un error menor.



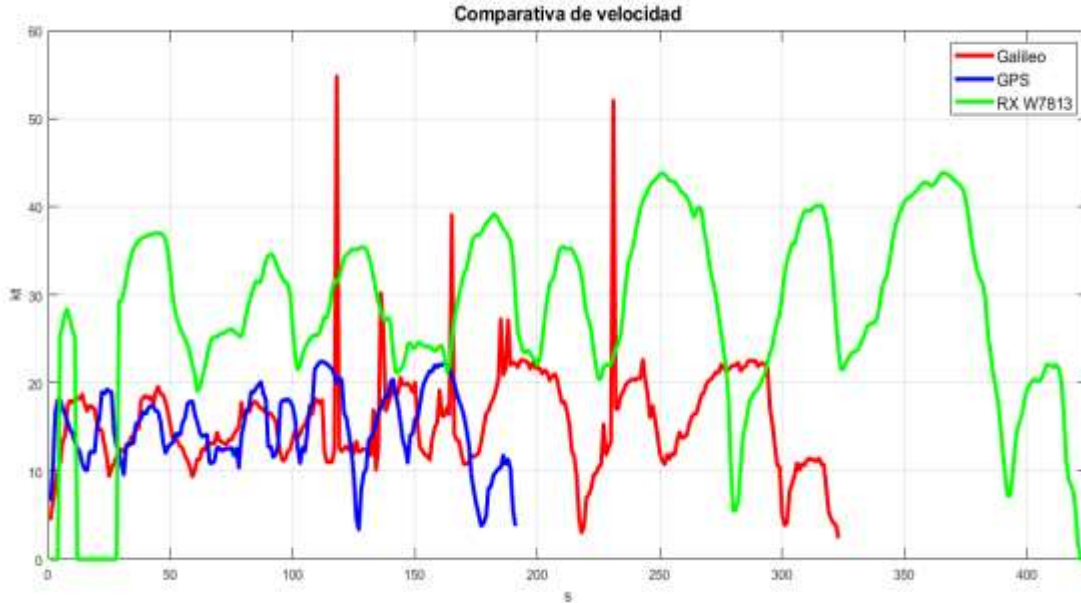
✓ El número de satélites del RX W7813 permanece prácticamente constante si se compara con el receptor móvil.

✗ El menor número de satélites de Galileo hace que el PDOP se dispare en ciertos puntos.



Comparación de medidas de parámetros característicos del receptor

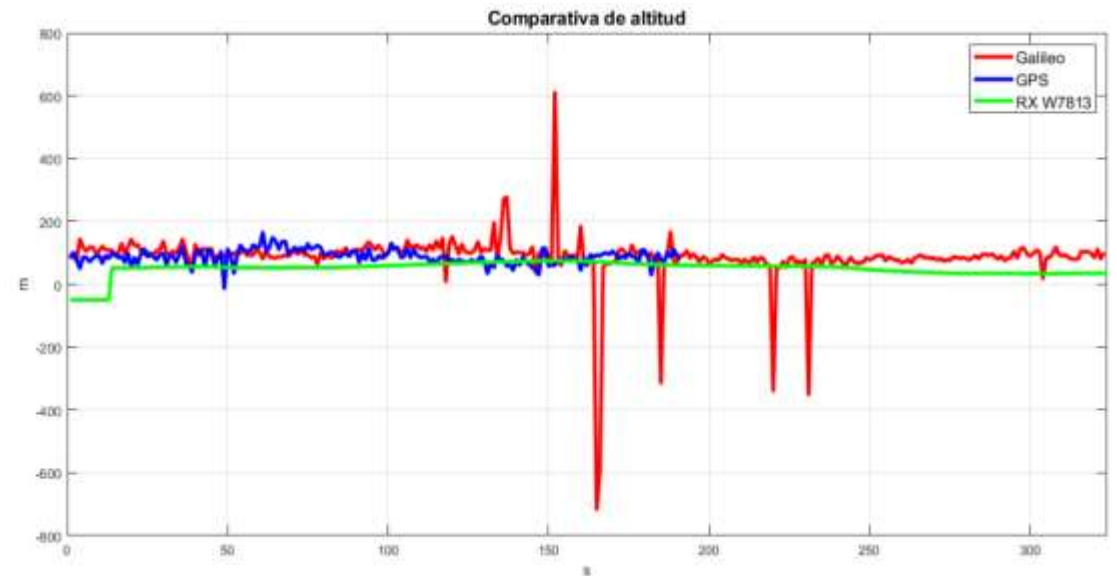
Velocidad



Se estima un diferencia de unos 10 kts entre la medida de velocidad del receptor W7813 (que por características de manipulación y comprobación con el velocímetro del coche se considerará más fiable) y el receptor móvil.

Altitud

La estabilidad de la señal GPS provoca unas medidas más continuas de altitud. En el caso de Galileo, debido a las implicaciones del PDOP derivadas del menor número de satélites captados y los frecuentes fallos de cobertura de la aplicación Galileo PVT, se obtienen picos.



¿Qué se trata en el trabajo?

1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger
 - Receptor W7813 y Galileo PVT
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía

4. Líneas futuras

- Comparación entre la ruta obtenida mediante Galileo y la Unidad de Medidas Inerciales (IMU).
- Empleo de un receptor equivalente al W7813 para Galileo.
- Explotación de la aplicación Galileo PVT en el caso de que disponga de más satélites operativos.
- Investigación sobre nuevas aplicaciones tecnológicas que requieran alta precisión sólo factible aplicando interoperabilidad de los distintos sistemas.
- Posibilidad de sustituir el formato NMEA por RINEX para establecer la comparación entre sistemas.

¿Qué se trata en el trabajo?

1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger
 - Receptor W7813 y Galileo PVT
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía

5. Conclusiones

- GLONASS ha presentado carencias más importantes que el resto de los sistemas (menor número de satélites disponibles).
- GPS es el sistema más extendido para el entorno en el que se ha realizado la ruta. Galileo presenta prestaciones similares e incluso mejores según los parámetros analizados.
- Con el receptor W7813 se obtienen mejores resultados de los que se esperaban en comparación con las aplicaciones móviles (posiblemente por las distintas características de manipulación de dichos receptores en el momento de la toma de medidas).
- La aplicación del filtro de Kalman suaviza curvas trazadas por Google Earth y las acerca más a la ruta real. Este hecho adquiere gran importancia en el caso que trata los peores resultados: la ruta trazada con GLONASS.
- En el caso del receptor W7813, se comprueba la considerable desviación con respecto a la ruta real que supone el cálculo de la ruta estimada.

¿Qué se trata en el trabajo?

1. Introducción
2. Reseña teórica sobre los principales GNSS:
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
3. Contenido práctico: toma de medidas.
 - Receptor W7813 y GNSS Logger
 - Receptor W7813 y Galileo PVT
4. Líneas futuras
5. Conclusiones
6. Bibliografía

6. Bibliografía

Las referencias más utilizadas han sido las siguientes:

- Palomo Pinto, F.R. (2007). *Sistemas de Ayuda a la Navegación*. Universidad de Sevilla (US). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)*. Grado en Ingeniería Aeroespacial. 4º curso
- Aguilar Jiménez, F.; Majada Costas, J.; Fernández Montaña, J.M. (2020). *Galileo: El sistema de navegación por satélite europeo*. Universidad de Sevilla (US). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)*. Grado en Ingeniería Aeroespacial. 4º curso. *Sistemas de Ayuda a la Navegación*
- Alfonso Navarro, E.; Lorite Beltrán, F.J.; Moreno Sánchez, M. (2011). *Receptor GPS Hardware*. Universidad de Sevilla (US). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)*. Grado en Ingeniería Aeroespacial. 4º curso. *Sistemas de Ayuda a la Navegación*
- Crosta, P.; Watterton, T. (2018). *Introducing the Galileo PVT App: from Assisted GNSS to NeQuick model: Android implementation at application layer*. ESA
- European Global Navigation Satellite Systems Agency (2021). *Galileo Services*. Recuperado el 1 de marzo de 2021 de: <https://www.gsa.europa.eu/galileo/services>
- Furquet Gascón, M. del C. (2016). *Estudio y análisis de la certificación y diseño de un SBAS (Satellite Based Augmentation System) para aeropuertos / heliódromos*. Trabajo fin de grado. Universitat Politècnica de Valencia. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño*. Grado en Ingeniería aeroespacial
- Jiménez Fernández, F.J. (2015). *Estudio sobre los sistemas de comunicaciones. Navegación, vigilancia y gestión del tráfico aéreo (CNS / ATM). Situación actual y evolución futura*. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación*
- Mathworks España (2021). *Read and Parse NMEA Data Directly from GPS Receiver - MATLAB & Simulink*. Recuperado el 1 de marzo de 2021 de: <https://es.mathworks.com/help/fusion/ug/read-and-parse-nmea-data-directly-from-gps-receiver.html>
- Vázquez Valenzuela, R. (s.f.). *Tema 6: Sistemas de navegación integrados. El filtro de Kalman*. Universidad de Sevilla (US). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)*. Grado en Ingeniería Aeroespacial. 3º curso. *Fundamentos de Navegación Aérea*.

*Nota: La bibliografía completa se presenta en la memoria del trabajo

¡ Muchas gracias !

