



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

---

# ESTUDIO DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON TÉCNICAS GNSS-R

---

TRABAJO FINAL DE GRADO

AUTOR: JULIÁN TÓRTOLA LAHIGUERA

TUTOR: NATALIA GARRIDO VILLÉN

TITULACION: GRADO EN INGENIERÍA EN GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

CURSO 2018-2019

## **1. Agradecimientos**

*Agradezco a mi ex-pareja su apoyo incondicional en todos los proyectos en los que me he embarcado hasta ahora, su cariño y afecto en los momentos más necesarios, y su compañía y comprensión cuando la frustración afloraba.*

*A mi familia, por proporcionarme la oportunidad de formarme como profesional y confiar en mis capacidades.*

*A mis amigos y compañeros, por combatir durante estos cuatro años las dificultades al unísono.*

*Al equipo docente, por compartir sus conocimientos y transmitirlos con su mejor intención.*

## ***2. Compromiso***

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

## ***3. Resumen de las ideas clave***

Los objetivos del siguiente trabajo de final de grado son, por una parte, la obtención y el estudio de la señal transmitida por los satélites de diferentes constelaciones. Por otro lado, de manera práctica en diferentes situaciones, se tratará de encontrar una relación directa entre los valores del SNR (Signal-to-noise ratio), que se encuentran en los mensajes de cada señal, y el porcentaje de humedad en vegetación y suelo desnudo.

## 4. Índice de figuras

<i>Ilustración 1, Valor de mercado de los sistemas GNSS [1] .....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 2, Arquitectura del sistema GPS y sus segmentos [5] .....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 3, Frecuencias fundamentales de la señal GPS L1 [6] .....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 4, Tipos de polarización de microondas [7] .....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 5, Resumen de todas las frecuencias del Sistema GPS [8] .....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 6, Diferencia entre los códigos de modulación de GALILEO [8]. .....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 7, Estructura recomendada para la nomenclatura de ficheros RINEX [12].....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 8, Ejemplo de las primeras líneas de un fichero .o RINEX 2.11.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 9, Ejemplo de las primeras líneas de un fichero .S RINEX 2.11 .....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 10, Ejemplo de las primeras líneas de un fichero .sn1 RINEX 2.11.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 11, Geometría de la señal recibida por los satélites .....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 12, Diagrama 2D de los patrones de ganancia de una antena Leica AR10.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 13, Representación de los valores de SNR normalizados. ....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 14, Satélite SMOS en órbita [15] .....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 15, Mapa de salinidad global en el año 2009 con una resolución de 50x50km [17].....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 16, Mapa de salinidad global en mayo de 2019 con una resolución un kilómetro cuadrado. [17] .....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 17, Esquema de la geometría del reflector SMIGOL [18] .....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 18, Imagen del reflector SMIGOL en campo [18].....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 19, Imagen de la antena OCEANPAL en funcionamiento. ....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 20, Ubicación de la torre ELBARA-II.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 21, Ubicación de detalle de la torre ELBARA-II.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 22, Antena oceanpal en la torre °1meteorológica a 11 metros de altura [28] .....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 23, Imagen de detalle de la instalación de la antena oceanpal [28] .....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 24, Fotografía de las viñas de Bodegas Nodus previa a su cosecha en el mes de Octubre. ....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 25, Fotografía de las viñas de Bodegas Nodus tras la cosecha en el mes de Julio. ....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 26, Imagen del receptor CHC .....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 27, Antena R10 y CHC junto al OCEANPAL en lo alto de la torre meteorológica. ....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 28, imagen del escudo de rejilla previa a su instalación.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 29, situación final de los receptores .....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 30, Caja metálica de protección.....</i>	<i>42</i>

<i>Ilustración 31, Sonda ThetaProbe ML2X y estación meteorológica automática METEODATA-3000C .....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 32, Captura de pantalla del apartado de Data Logging del receptor R10 .....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 33, Captura de pantalla del directorio donde se almacenan los datos. ....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 34, Captura de pantalla de la configuración de la sesión. ....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 35, Captura de pantalla de la configuración del receptor CHC .....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 36, Captura de pantalla del programa CHCData con un fichero .hcn cargado.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 37, Captura de pantalla de la representación de los valores de SNR según satélite y ángulo de elevación.45</i>	
<i>Ilustración 38, Trimble GNSS Planning Online.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 39, Representación de los satélites para un instante UTC +00.00 para el 18 de junio de 2019.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 40, Carga de datos de un fichero .t02 del receptor R10.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 41, Captura de pantalla de las opciones disponibles en CoverfToRinex. ....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 42, Línea de un fichero .ele donde se indica: el segundo de observación, el número de satélites y los satélites. G para GPS, C para Beidou y E para Galileo.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 43, Línea siguiente a la anterior donde se encuentran los valores de elevación de los satélites anteriores, en orden.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 44, Matriz donde se ordenan los datos.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 45, Matriz con los valores ordenados para el sistema GPS.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 46, Matriz con valores. ....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 47, Apariciones del satélite. ....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 48, El satélite alcanza su cenit.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 49, Croquis angular de ELBARA-II .....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 50, Estructura de la matriz de datos.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 51, Representación de los resultados obtenidos.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 52, Datos procesados del día 15 de Julio de 2018 para el receptor R10.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 53, Carpetas generadas por el programa donde se encuentran los datos de la figura anterior. ....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 54, Primera parte de la matriz de resultados .....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 55, Segunda parte de la matriz de resultados .....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 56, Fotografía del desmonte del poste donde se encuentran los receptores R10 y CHC para desinstalar el receptor R10 .....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 57, Colocación de la sonda a la altura del receptor.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 58, Amperímetro mostrando un voltaje de 234V.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 59, Receptores R8 .....</i>	<i>57</i>

*Ilustración 60, Estacionamiento del receptor R10 en horizontal tras unos días de lluvia en la parcela rústica ..... 59*

*Ilustración 61, Toma de datos con receptores R8 y R10 en parcela cercana a la UPV ..... 60*

*Ilustración 62, Receptor R10 colocado en horizontal sobre césped de la UPV ..... 61*

*Ilustración 63, SNRr con elevación de 5° a 30° ..... 68*

*Ilustración 64, SNRr con elevación de 5° a 45° ..... 69*

*Ilustración 65, SNRr con elevación de 20° a 60° ..... 69*

## **5. Índice de tablas**

*Tabla 1, Resumen de las frecuencias fundamentales de los 4 sistemas GNSS más representativos [2]..... 3*

*Tabla 2, Propiedades de las constelaciones GNSS más representativas [8]..... 15*

*Tabla 3, Ratios de compresión de HATANAKA y C-RINEX [12]..... 30*

## 6. Índice

1. Agradecimientos .....	2
2. Compromiso .....	3
3. Resumen de las ideas clave .....	3
4. Índice de figuras .....	4
5. Índice de tablas .....	6
6. Índice .....	7
7. Introducción .....	9
8. Objetivos .....	10
9. Fundamentos teóricos .....	11
9.1 Global Navigation Satellite System (GNSS) .....	11
9.2 Sistema GPS (Global Positioning System) .....	13
9.2.1 Arquitectura del sistema GPS .....	13
9.2.2 Códigos PRN en el sistema GPS .....	14
9.2.3 Señales en la banda L1 en el sistema GPS .....	16
9.2.4 Señales en la banda L2 en el sistema GPS .....	16
9.2.5 Código civil L2C .....	16
9.2.6 Portadora L5 y su código civil .....	17
9.3 Sistema Galileo .....	18
9.4 Sistema GLONASS (Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema) .....	21
9.5 Sistema BSD (BeiDou Navigation Satellite System) .....	21
9.6 Sistema QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) .....	22
9.7 RINEX .....	22
9.8 TEQC .....	25
9.9 Inicios de las técnicas GNSS-R .....	27
9.10 Técnicas IPT .....	29
9.10.1 Obtención de frecuencia, amplitud y altura .....	32
9.11 SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) .....	33
9.12 SMIGOL (Soil Moisture Interference-pattern GNSS Observations at L- band) .....	34
9.13 OCEANPAL .....	35
10. Metodología .....	36

<b>10.1 Planificación del proyecto</b> .....	36
<b>10.1.1 BeiDou Soil Moisture Experiment in Valencia</b> .....	36
<b>10.1.2 Configuración de los receptores y descarga de datos.</b> .....	42
<b>10.1.3 Procesamiento de datos.</b> .....	48
<b>10.1.3.1 SNRPRN.m</b> .....	48
<b>10.1.3.2 ajusteLSQ.m</b> .....	54
<b>10.1.4 Toma de datos en la playa la Patacona.</b> .....	55
<b>10.1.5 Toma de datos en la Universidad politécnica de Valencia.</b> .....	58
<b>11. Resultados</b> .....	62
<b>11.1 ELBARA-II</b> .....	62
<b>11.2 Playa de la Patacona. Campaña 1</b> .....	66
<b>11.3 Playa de la Patacona. Campaña 2</b> .....	66
<b>11.3 Pruebas en la UPV</b> .....	68
<b>12. Conclusiones</b> .....	70
<b>13. Bibliografía</b> .....	71
<b>ANEXO 1. ThetaProbe type ML2x</b> .....	73
<b>ANEXO 2. HOBO® 4-Channel Thermocouple Data Logger (UX120-014M) Manual</b> .....	75
<b>ANEXO 3. CHC N72 HARDWARE DESCRIPTION</b> .....	77
<b>ANEXO 4. TRIMBLE R10 HARDWARE DESCRIPTION</b> .....	81
<b>ANEXO 5. CÓDIGO DEL SCRIPT SNRPRN.M</b> .....	83
<b>ANEXO 6. CÓDIGO DE LA FUNCIÓN LEERTEQC.M</b> .....	96
<b>ANEXO 7. CÓDIGO DE LA FUNCIÓN CONTAROBS.M</b> .....	97
<b>ANEXO 8. CÓDIGO DEL SCRIPT AJUSTELSQ.M</b> .....	97



## 7. Introducción

En la actualidad, la obtención del índice de humedad del suelo, denominado SM (Soil Moisture), se puede lograr empleando imágenes multiespectrales de satélites con resoluciones espectrales del orden de 40-60km y, de forma directa, con sondas que proporcionan información en un perímetro de 20 a 100 cm.

El SM nos proporciona información para el estudio del clima y previsión de inundaciones, y guarda una estrecha relación con el estado de la vegetación o el suelo, por lo que es un dato de gran valor.

Los satélites de los diferentes sistemas GNSS (GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO...), emiten señales electromagnéticas, diferenciadas entre sí, y en distintos canales del espectro electromagnético, las cuales son recibidas por la antena del receptor, donde se decodifica y se obtiene información sobre su velocidad, fase, distancia e información sobre su órbita, entre otros.

En el caso de posicionamiento GNSS, se trabaja con la señal recibida directamente por el satélite y cualquier tipo de efecto multipath (interferencia producida por el rebote de la señal en otros lugares ajenos al receptor) que pueda afectarla no es deseado. Sin embargo, la reflectometría GNSS (GNSS-R) estudia la influencia del efecto multipath en la onda recibida y trata de suprimir la señal directa para trabajar únicamente con la recibida por la superficie reflejada.

El grado de influencia de este efecto (aunque no de manera exclusiva), viene determinado por el valor del SNR (Signal-to-noise ratio), un índice que mide la calidad de la transmisión de la señal. Cuanto más alto sea este valor, más fácil es identificar y aislar la fuente de ruido. Como la señal directa y la reflejada en la superficie no llegan al mismo tiempo al receptor, se genera un desfase entre ambas. Se ha demostrado en diferentes estudios que este desfase se ve afectado por la constante dieléctrica de la superficie donde se refleja la onda, encontrándose así una relación semi-directa entre el SNR y la humedad. A mayor cantidad de agua, se reduce la absorción del medio y aumenta su reflectividad.

El uso de técnicas GNSS-R para estimar el SM puede cubrir zonas entre 1 y 100 metros, unas distancias intermedias entre las imágenes de satélite y las medidas tomadas in-situ. Aunque su uso no se encuentre estandarizado y sigue en proceso de refinamiento, podría resultar una herramienta con un gran potencial para estimar la humedad del suelo, entre otras aplicaciones.

## **8. Objetivos**

En este trabajo de fin de grado se pretende: obtener datos de un receptor CHC-N72, proporcionado por la SDAU (Shandong Agricultural University) en su colaboración con el Departamento de Teledetección de la Universitat de València, y de dos antenas R-8 y R-10, proporcionadas por el Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universitat Politècnica de València.

Los datos obtenidos serán analizados con el objetivo de encontrar la relación existente entre los valores de SNR y sus derivados y el porcentaje de humedad (Soil Moisture) en diferentes superficies.

## 9. Fundamentos teóricos

En los siguientes apartados se desarrollarán los fundamentos teóricos de las técnicas GNSS y GNSS-R y sus constelaciones más importantes.

### 9.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)

El término GNSS, siglas de Global Navigation Satellite System, representa a los sistemas que proporcionan posicionamiento espacial global a través de las diferentes constelaciones de satélites y los satélites de los sistemas de aumentación SBAS (Satellite-based Augmentation System).

En la actualidad, los sistemas GNSS con los que podemos trabajar mundialmente son GPS (estadounidense), Galileo (europeo), GLONASS (ruso) y BEIDOU (chino), aunque también existen sistemas regionales como son el IRNSS (indio) o el QZSS (japonés). En este estudio, se trabajará con GPS, Galileo y BEIDOU, siempre que los receptores lo permitan.

Estas técnicas representan, en todos sus ámbitos, una proporción muy relevante de la economía mundial actual (según la Comisión Europea, entre el 7 y el 9 por ciento del PIB deriva de técnicas GNSS) y se estima que siga en aumento, hasta un total de 250 billones de euros en la Unión Europea hacia el 2025 (véase Ilustración 1), con un crecimiento anual del 9.6% [1].

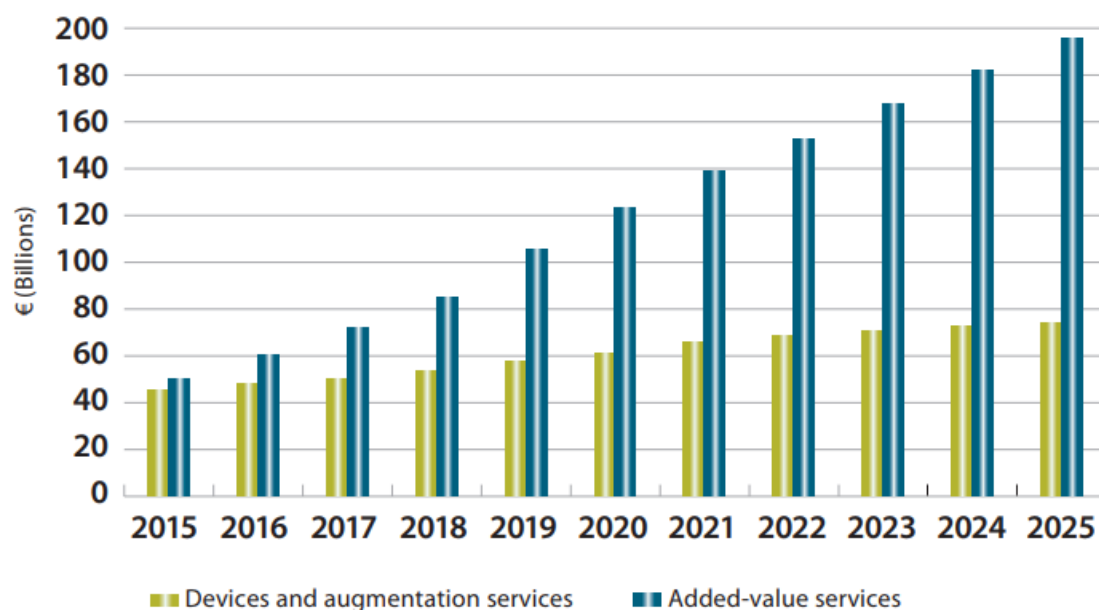


Ilustración 1, Valor de mercado de los sistemas GNSS [1]

A grandes rasgos, el funcionamiento de los sistemas GNSS se fundamenta en la medición, una vez conocidas las posiciones de los satélites colocados en el espacio, de las distancias entre cada satélite y el receptor a través de una onda electromagnética que atraviesa el espacio y las capas que rodean la Tierra. Conocida esta distancia el problema se reduce, en principio, a una trilateración.

La velocidad de la onda GNSS es la de la luz, por lo que, determinar el tiempo de propagación, de manera precisa, es vital. Un error de 1ms corresponde a una distancia de 300km, es por ello que los satélites cuentan con relojes atómicos capaces de determinar su tiempo UTC (Coordinated Universal Time) con una precisión menor a la cienmillonésima de segundo. A este método de medición de la distancia se le denomina “medición en código”.

Otro método, con mayor precisión, pero que requiere de más satélites para resolverse, es el de “medición en fase”, a partir del cual se mide el número de longitudes de onda completas ( $\lambda$ ) y el desfase en la actual ( $\Phi$ ) para determinar la distancia.

Las señales de los satélites son ondas electromagnéticas pertenecientes a la parte de microondas, con una frecuencia entre 1000 y 2000 Mhz, dependiendo de la constelación y el satélite, habiendo satélites que son capaces de transmitir en dos o más bandas, como se indica en la Tabla 1 [2].

Sistema	Señal	Frecuencia (Mhz)
GPS	L1 C/A	1575.42
	L2 C	1227.6
	L2 P	1227.6
	L5	1176.45
GLONASS	L1 C/A	1598-1609
	L2 C	1242-1251
	L2 P	1242-1251
	L3 OC	1202.025
Galileo	E1	1575.42
	E5a	1176.45
	E5b	1207.14
	E5 AltBOC	1191795
	E6	1278.75
BeiDou	B1I	1561098
	B2I	1207.14
	B3	1268.52
	B1C	1575.42
	B2a	1176.45

Tabla 1, Resumen de las frecuencias fundamentales de los 4 sistemas GNSS más representativos [2].

Cada satélite (a excepción de la constelación GLONASS) se identifica por su PRN (PseudoRandom Noise), un código que se encuentra en el mensaje de navegación que envía el satélite y es único para cada satélite, permitiendo su identificación [3].

## 9.2 Sistema GPS (*Global Positioning System*)

El origen del sistema estadounidense reside en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) y la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial (NGA), anteriormente conocida como Agencia Nacional De Imágenes y Mapas (NIMA), con el objetivo de proporcionar información posicional en el ámbito militar.

Actualmente consta de 31 satélites de órbita circular, a una altitud aproximada de 20km, suministrando una cobertura constante en todo el planeta, siempre que la geometría del terreno lo permita.

Proporciona diferentes servicios, según quién sea su usuario, entre los que se pueden destacar los siguientes [2]:

- PPS (Precise Positioning Service): Servicio de posicionamiento preciso en las bandas L1 y L2. Contiene un código C/A civil y un código P que requiere de una autorización previa.
- SPS (Standard Positioning Service): Servicio estándar de posicionamiento en la banda L1 y en código civil C/A, disponible para cualquier usuario.

### 9.2.1 Arquitectura del sistema GPS

La arquitectura de este sistema se encuentra dividida en tres grandes segmentos, como se puede ver en la ilustración 2 [5]:

- Space Segment (SS): La función principal del segmento espacial es la transmisión de las señales de radio y navegación con una estructura que se verá en el siguiente apartado. Está formado por la constelación de satélites con, al menos, 4 de ellos visibles desde cualquier lugar de la Tierra.
- Ground Segment (CS): El segmento de tierra se encarga del mantenimiento y control de todo el sistema GPS, y está formado por estaciones de seguimiento, una estación de control maestra y antenas terrestres. La estación de control maestra es la encargada de calcular las órbitas de los satélites, errores en los relojes, así como otros parámetros, y de generar el mensaje de navegación. Esta información es transmitida a los satélites a través de las antenas terrestres.
- User Segment (US): Está compuesto por todos los receptores GPS, y su función es la de captar las señales del sistema y determinar distancias, resolviendo los sistemas de ecuaciones necesarios para generar coordenadas en los diferentes sistemas de referencia.

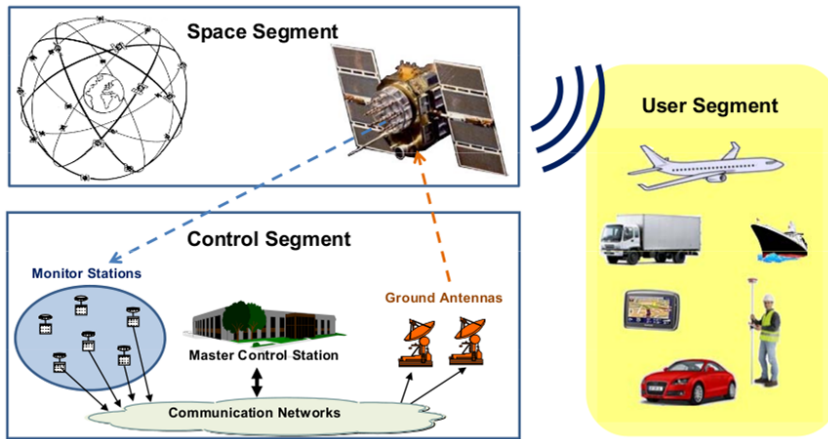


Ilustración 2, Arquitectura del sistema GPS y sus segmentos [5].

### 9.2.2 Códigos PRN en el sistema GPS

Los ya mencionados PRN, son una secuencia aleatoria de  $n$  pulsos en una frecuencia dada, con una amplitud e igual probabilidad de ser igual a  $+1$  o  $-1$ . Tienen la función de identificar de manera inequívoca el satélite del que procede el mensaje. Para un pulso de duración  $T_c$ , la secuencia de la señal es la que se muestra en la siguiente ecuación.

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n \Pi\left(\frac{t-nT_c}{T_c}\right)$$

En las señales GPS, se utilizan dos tipos de código: el código C/A (Coarse Acquisition) y el código P (Precise).

El código C/A es utilizado en aplicaciones civiles, con una frecuencia de 1.023 MHz con un ancho de banda espectral de 2.046 MHz. La correlación de este código tiene propiedades similares a las del ruido blanco gaussiano<sup>1</sup>, de manera que identifique sin ambigüedades cada satélite con una longitud de onda baja para que no se creen interferencias entre cada señal. Sólo es modulado en la señal L1, por lo que, si el satélite emite otras señales (L2 o L5), es necesario resolver la señal L1 para determinar su PRN.

Por otra parte, el código P es reservado para uso militar, con una frecuencia de 10.23 MHz (ver Ilustración 3). En el caso de la existencia de conflictos bélicos, este código se encripta y pasa a ser el código militar W, pasando a llamarse P(Y).

<sup>1</sup> El ruido blanco gaussiano es un ruido simultáneamente blanco (aquel en el que no hay correlación en el tiempo) y gaussiano (que presenta una distribución de Gauss), combinando las características de ambos.

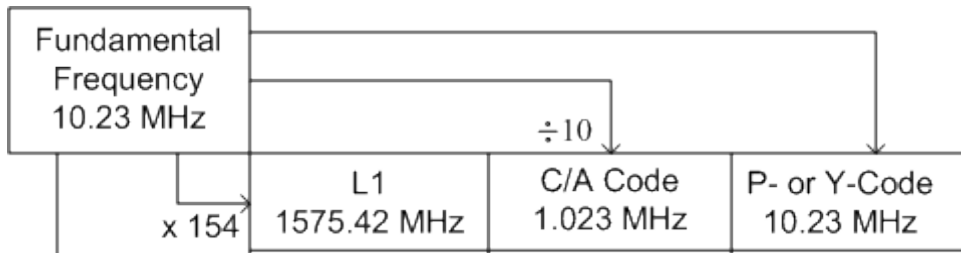


Ilustración 3, Frecuencias fundamentales de la señal GPS L1 [6]

Las señales de GPS se generan de forma sincronizada para tener una referencia común de tiempo a la hora de resolver las ecuaciones de posicionamiento, y son polarizadas circularmente en sentido dextrógiro, RHCP (Right Hand Circularly Polarized), por lo que son inmunes a la polarización de la ionosfera.

La polarización circular implica que el final del vector de campo eléctrico es un círculo en un plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Se entiende como polarización directa cuando el círculo se construye en el sentido de las agujas del reloj; en caso contrario se habla de polarización inversa o Left Hand Circularly Polarized (LHCP). El concepto de polarización se ejemplifica en la Ilustración 4.

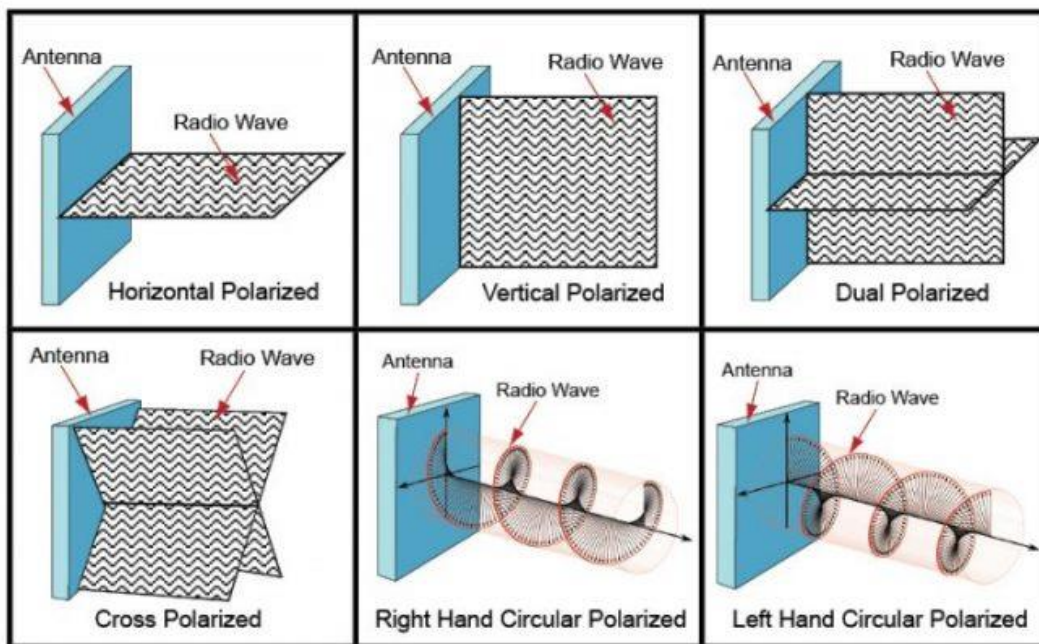


Ilustración 4, Tipos de polarización de microondas [7]

La polarización de la antena debe coincidir con la polarización de la señal; el tipo de polarización depende de las microondas a emplear. Por ejemplo, las antenas de Tierra móvil, son antenas polarizadas verticalmente, ya que tienen mayor facilidad al atravesar curvatura terrestre que las horizontales. [7]

En el caso de las señales GNSS, son polarizadas circularmente, ya que esta polarización ayuda a mitigar las dispersiones generadas por la orientación del satélite en el momento de su emisión.

### 9.2.3 Señales en la banda L1 en el sistema GPS

La ecuación de la señal S1 de la portadora L1 se modula por los códigos C/A y P(Y), respectivamente en fase (I) y en cuadratura de fase (Q). El mensaje de navegación se superpone en los dos códigos. La expresión analítica de la señal S1 transmitida en L1 con la frecuencia de portadora  $f_1$  para un satélite dado es:

$$S_1(t) = \sqrt{2P_{C/A,L1}} D(t) C/A(t) \cos(2\pi f_1 t + \phi_{L1}) + \sqrt{2P_{P(Y),L1}} D(t) P(t) \sin(2\pi f_1 t + \phi_{L1})$$

Donde:

- $P_{C/A,L1}$  y  $P_{P(Y),L1}$  son las potencias transmitidas en L1 para ambos códigos C/A y P(Y).
- $D(t)$  es el mensaje de transmisión.
- $C/A(t)$  y  $P(t)$  son las secuencias binarias de los códigos C/A y P(Y).

### 9.2.4 Señales en la banda L2 en el sistema GPS

La ecuación de la señal S2 de la portadora L2 solo se modula por el código P(Y), y su expresión analítica es:

$$S_2(t) = \sqrt{2P_{P(Y),L2}} P(t) \cos(2\pi f_2 t + \phi_{L2})$$

Donde:

- $P_{P(Y),L2}$  es la potencia transmitida en la banda L2.
- $P(t)$  es la secuencia binaria del código P(Y)

No se transmiten datos en la frecuencia L2, por lo que el término  $D(t)$  no se encuentra presente.

### 9.2.5 Código civil L2C

Esta señal civil, que modula la portadora L2, corrige los efectos ionosféricos combinando medidas de pseudodistancia con las del código C/A de L1.

La diferencia principal entre los códigos L2C y C/A, aparte de tener una portadora con frecuencia diferente, radica en que la parte civil de la señal L2C tiene dos códigos multiplexados.

El primero de estos códigos, el denominado "Moderado" Code Moderate (CM a 511 kHz), se multiplexa con el mensaje de navegación; el segundo código se denomina "Largo" Code Long (CL a 511 kHz). Estos códigos tienen un periodo más largo que el código C/A, con un periodo de 1 ms. El código CL tiene un periodo de 1.5 s y el código CM un periodo de 20 ms.



La señal S<sub>2C</sub>, que transmite en la frecuencia f<sub>2</sub> por la banda L<sub>2</sub>, para un satélite dado será:

$$S_{2C}(t) = \sqrt{2P_{P,L_2}} D(t) P(t) \cos(2\pi f_2 t + \phi_{L_2}) + \sqrt{2P_{P,C/A,L_2}} [D(t) CM(t) \oplus CL(t)] \cos(2\pi f_2 t + \phi_{L_2})$$

Siendo  $\oplus$  una adición de módulo 2, que se corresponde con el operador de multiplexación de los códigos civiles.

### 9.2.6 Portadora L<sub>5</sub> y su código civil

Además de tener una nueva frecuencia, la señal S<sub>5</sub> de la portadora L<sub>5</sub> (1,176.45 MHz) a través de un tercer código civil. Este código fue diseñado para las aplicaciones SOF, mencionadas anteriormente.

La señal S<sub>5</sub> se modula por la técnica QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), mediante un desplazamiento de fase en cuadratura, formado por un componente en fase I<sub>5</sub> = NH10I, que contiene la información de navegación y un componente Q<sub>5</sub>=NH20Q que no contiene datos. La Ilustración 5 resume la modulación de todas las bandas del sistema GPS.

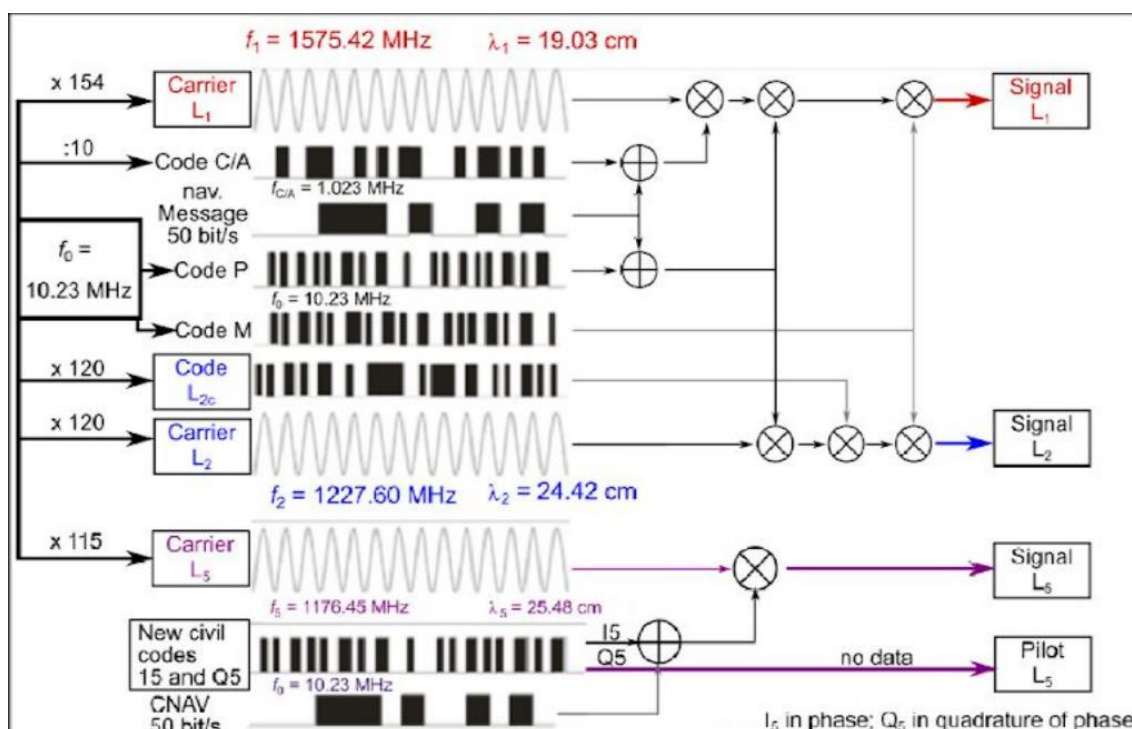


Ilustración 5, Resumen de todas las frecuencias del Sistema GPS [8]

La ecuación que define a la señal S<sub>5</sub> es, por tanto:

$$S_5(t) = \sqrt{2P_{C/A,L_5}} D(t) NH_{10} I_5(t) \cos(2\pi f_5 t + \phi_{L_5}) + \sqrt{2P_{P,L_5}} NH_{20} Q_5(t) \sin(2\pi f_5 t + \phi_{L_5})$$

Donde:

- NH<sub>10</sub> y NH<sub>20</sub> son los códigos de multiplexación de Neumann-Hoffman de I<sub>5</sub> y Q<sub>5</sub> a 10ms y 20m, respectivamente.

### 9.3 Sistema Galileo

Este sistema comienza su desarrollo en el año 1999 a manos de la Unión Europea (EU) a través de la Agencia Espacial Europea (ESA) y nace para evitar la dependencia de los sistemas GPS y GLONASS para obtener posicionamiento preciso, dado que estos no ofrecen ningún tipo de garantía legal ni fiabilidad, ya que su precisión podría empeorar en cualquier momento sin notificación previa.

Su diseño ha sido pensado para uso civil y comercial, a diferencia de los sistemas GLONASS y GPS, cuyo origen es militar.

En la actualidad, este sistema sigue en desarrollo y su finalización está planeada para el año 2020. El primer satélite fue lanzado en diciembre de 2005 y actualmente cuenta con 26 satélites de los 30 planeados.

La constelación transmite en tres señales: E1 (1575.42 MHz), E5 (1191.795 MHz) y E6 (1278.75 MHz) a través de 5 servicios principales:

- OSN (Operation Access Navigation): Servicio estándar para cualquier usuario que disponga del receptor adecuado.
- CS (Commercial Navigation): Servicio encriptado comercial.
- SOL (Safety of Life navigation): Servicio abierto para aplicaciones de seguridad y protección civil.
- PRS (Public Regulated Service): Servicio encriptado reservado para las agencias gubernamentales.
- SR: (Search and Rescue): Servicio reservado para operaciones de rescate.

En la tabla 2, se muestra cómo se mantiene la compatibilidad entre los sistemas GPS y GALILEO, a través de la existencia de portadoras comunes.

GNSS constellation	GPS (United States)	GLONASS (RUSSIA)	GALILEO (EUROPE)	BEIDOU2/COMPASS (CHINA)
Operational satellites	32 MEO	24 MEO	2 IOV 10 MEO → 30 MEO	5 → 27 MEO, 5 GEO and 5 IGSO
Altitude (km)	20,200	19,100	IOV: 23,222 MEO: 23,616	21,150
Orbital planes	6	3	3	3
Orbital period	11 h 58 min	11 h 15 min	14 h 21 min	12 h 53 min
Incline	55°	64.8°	56°	55°
Multiple access	CDMA	FDMA/CDMA	CDMA	CDMA
Carriers and frequencies (MHz)	L1: 1575.42 L2: 1227.60 L5 : 1 176,45	L1: 1598.06 to 1605.38 L2: 1242.94 to 1248.63 L3: 1207.14 L5: 1176.45	E1: 1575.42 E5a: 1176.45 E5b : 1207.14 E6: 1278.75	B1: 1561.10 B1-2: 1589.74 B2: 1207.14 B3: 1268.52
Modulation	BPSK, BOC, TMSK	BPSK, BOC	BPSK, BOC, CBOC, AltBOC	QPSK, BOC, MBOC, TMSK
Statuts	OP	OP	VAL	~OP
<p>OP: operational, ~OP: quasi operational, VAL: validation phase            Code Division Multiple Access: CDMA, Frequency DMA: FDMA            MEO: Medium Earth Orbit, GEO: Geostationary, IOV: In Orbit Validation, IGSO: Inclined GeoSynchronous Orbit</p>				

Tabla 2. Propiedades de las constelaciones GNSS operativas o más avanzadas.

La flecha indica desarrollos futuros. También se presentan todos los códigos de modulación de frecuencia GNSS: Binary Phase Shift Keying (BPSK: el más clásico); Binary Offset Carrier (BOC); BOC multiplexado (MBOC); Tiempo multiplexado BOC (TMBOC); BOC compuesto (CBOC); BOC alternativo (AltBOC); Teclado de cambio de fase en cuadratura (QPSK). Como la tabla se creó el 6 de junio de 2016, puede haber habido evoluciones después del lanzamiento de varios satélites de diferentes constelaciones [8].

La portadora E5, se divide en dos:

- E5a, con frecuencia común a L5 de GPS (1176.45 MHz).
- E5b, con frecuencia común a L3 de GLONASS.

La portadora E6, no es común con ninguna otra existente y tiene una frecuencia de 1278.75 MHz.

Este sistema se basa en el código Binary Offset Carrier (BOC), con sus variantes CBOC (Composite Binary Offset Carrier) y tiene ventajas sobre el BSK: la energía es separada desde los dos lados de la portadora, por lo que favorece la transmisión de la señal en un ancho de banda mayor, ofreciendo resistencia a efectos multipath y mejor correlación, ver Ilustración 6.

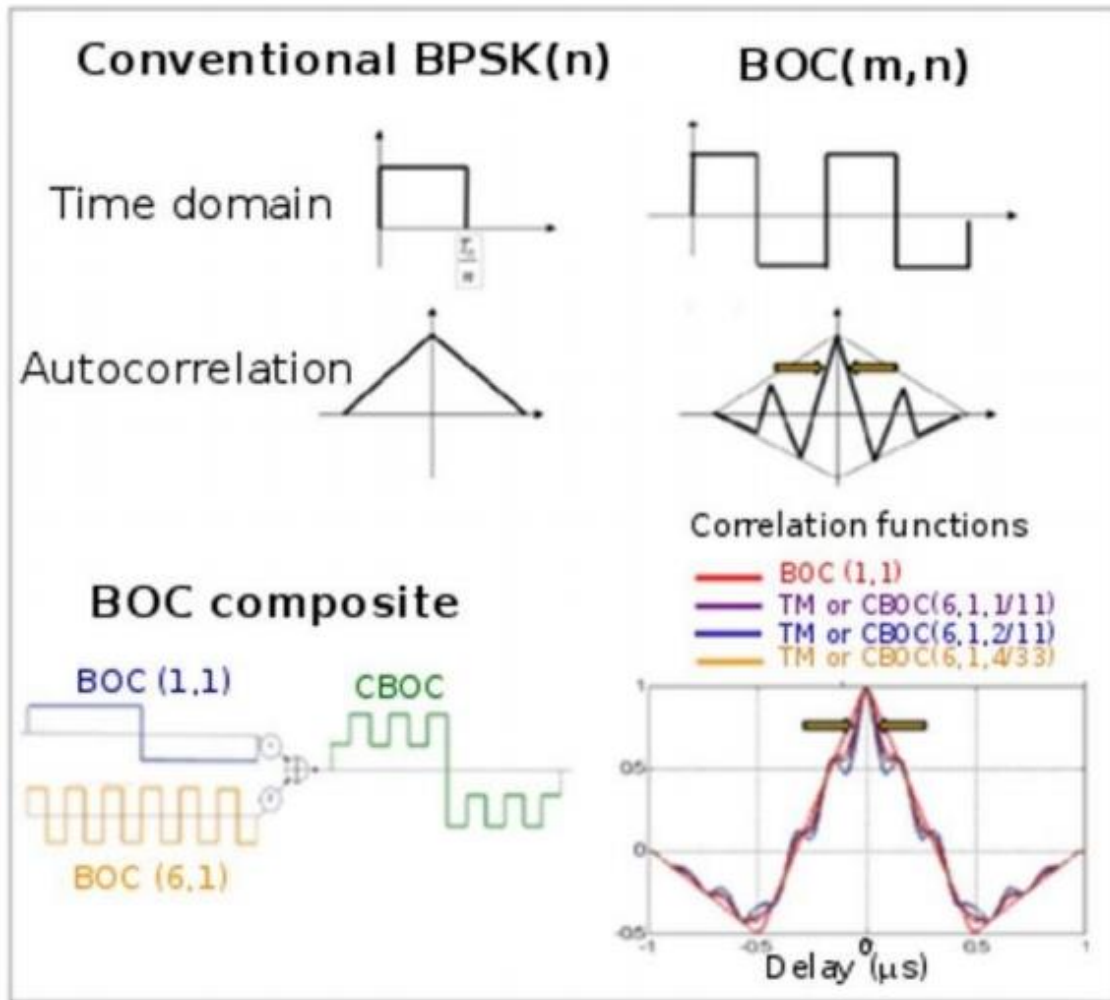


Ilustración 6, Diferencia entre los códigos de modulación de GALILEO [8].

$n$  es el número de chips y  $m$  es el coeficiente multiplicador para obtener la frecuencia de la subportadora de la frecuencia de referencia del código  $C/A$ :  $f_{C/A} = 1.023 \text{ MHz}$ . Las flechas amarillas indican el ajuste de la función de autocorrelación, en comparación con BPSK o BOC del CBOC o el equivalente estadounidense del TMBOC del GPS. Para CBOC / TMBOC, se generaron más señales compuestas utilizando diferentes valores de  $n$  y  $m$  para la primera y la segunda señal BOC [8]

#### **9.4 Sistema GLONASS (*Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema*)**

Se trata del segundo sistema de navegación global operativo y su desarrollo comienza en la Unión Soviética en el año 1976, con los primeros satélites poniéndose en marcha en octubre de 1982. Actualmente cuenta con 26 satélites, siendo operativos 24.

La peculiaridad de este sistema es que todos sus satélites emiten en una frecuencia diferente, diferenciando también entre las bandas L1, L2 y L3. Esto es debido a que se ha utilizado el sistema Frequency Division Multiple Access (FDMA) para las bandas L1 y L2, todos los satélites tienen el mismo PRN y se identifican, en su lugar, por su frecuencia [9].

La frecuencia emitida por cada satélite viene determinada por el canal de transmisión  $k$ , según la expresión:

$$f_{L1} = f_{01} + k\Delta f_1 \text{ donde } f_{01} = 1602\text{MHz}, \Delta f_1 = 562.5\text{KHz y } k \text{ el canal de transmisión}$$

$$f_{L2} = f_{02} + k\Delta f_2 \text{ donde } f_{02} = 1247\text{MHz}, \Delta f_2 = 562.5\text{KHz y } k \text{ el canal de transmisión}$$

La banda L3 se transmite a una frecuencia estática de 1207.14 MHz [10].

Del mismo modo que el sistema GPS, GLONASS ofrece diferentes servicios de posicionamiento [11]:

- Standard Precision Service (SP): Un servicio estándar para cualquier usuario con un receptor que capte la señal de este sistema; transmitido en las bandas L1 y L2.
- High Precision Service (HP): Servicio de alta precisión reservado para usuarios autorizados por el gobierno ruso.

#### **9.5 Sistema BSD (*BeiDou Navigation Satellite System*)**

En el año 2000, el gobierno chino, a través de la CNSA (China National Space Administration), lanza 3 satélites que pretendían ofrecer cobertura a China y regiones vecinas. En el año 2011, una versión mejorada que recibía el nombre de COMPASS o BeiDou-2 lanza 10 satélites funcionales con 3 frecuencias: B1 a 1561.098 MHz, B2 con 2017.14 MHz y B3 a 1268.52 MHz.

En la actualidad se encuentra en desarrollo la tercera versión de este sistema, que actualmente cuenta con 15 satélites de los 35 pensados.

Los servicios actuales proporcionan dos niveles de precisión, uno gratuito para todos los ciudadanos y otro privado reservado para el gobierno chino y sus fuerzas militares.

### **9.6 Sistema QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)**

Se trata del sistema de posicionamiento regional de Japón, desarrollado por la agencia espacial japonesa JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency). Su desarrollo comenzó en el año 2002 y el primer satélite fue lanzado en el año 2010.

Actualmente cuenta con cuatro satélites geoestacionarios, consiguiendo que, al menos, un satélite se encuentre siempre en el cenit del país.

Están planeadas un total de 6 señales: L1-C/A (1575.42 MHz), L1C (1575.42 MHz), L2C (1227.6 MHz), L5 (1176.45 MHz), L1-SAIF (1575.42 MHz), LEX (1278.75 MHz), donde L1-C/A, L2C, L5 y L1C serán interoperables con otros sistemas GNSS, mientras que L1-SAIF será una señal de aumentación y LEX una señal experimental compatible con la señal E6 de Galileo.

### **9.7 RINEX**

RINEX (Receiver Independent Exchange Format) es un formato de intercambio de información GNSS y contienen todos los observables, datos de navegación e información atmosférica disponible para cada observación. La necesidad del desarrollo de este formato surge de la primera campaña de recolección de datos GPS EUREF 89, formada por más de 60 receptores GPS de cuatro empresas diferentes. [14]

Ya que cada compañía tiene su propio formato de datos, la Universidad astronómica de Berna de Suiza, propone un estándar de formato universal independiente del tipo de receptor con la siguiente estructura (Ver ilustración 7): ssssdfff.yyt, siendo:

- ssss: cuatro caracteres que designen a la estación
- ddd: día del año 1-365.
- f: número horario de la sesión, 00h-01h-> a, 01h-02h->b...
- yy: Año de la toma del dato.
- t: tipo de fichero:
  - O: Contiene los datos de observación
  - M: Datos meteorológicos
  - N: Datos de navegación GPS
  - G: Datos de navegación GLONASS
  - L: Datos de navegación GALILEO



```

2.11 OBSERVATION DATA Mixed(MIXED) RINEX VERSION / TYPE
cnvtToRINEX 3.09.11 convertToRINEX OPR 14-Feb-19 20:21 UTC PGM / RUN BY / DATE
-----
p1 MARKER NAME
p1 MARKER NUMBER
GNSS Observer Trimble OBSERVER / AGENCY
5452488975 TRIMBLE R10 5.22 REC # / TYPE / VERS
TRMR10 NONE ANT # / TYPE
4929638.8358 -29043.4245 4033566.1842 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 0 WAVELENGTH FACT L1/2
9 C1 C2 C5 C8 L1 L2 L5 L8 P2# / TYPES OF OBSERV
1.000 INTERVAL
2019 2 7 9 19 51.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2019 2 7 10 19 16.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
18 LEAP SECONDS
27 # OF SATELLITES
E02 544 0 0 471 533 0 0 471 0PRN / # OF OBS
E07 3113 0 0 3075 3102 0 0 3075 0PRN / # OF OBS
E19 2030 0 0 1992 2018 0 0 1992 0PRN / # OF OBS
E21 399 0 0 399 399 0 0 399 0PRN / # OF OBS
E26 2852 0 0 2822 2846 0 0 2822 0PRN / # OF OBS
E27 3444 0 0 3444 3444 0 0 3444 0PRN / # OF OBS
E30 1398 0 0 1242 1389 0 0 1242 0PRN / # OF OBS
E33 3112 0 0 3106 3112 0 0 3106 0PRN / # OF OBS
G02 3414 0 0 0 3396 2761 0 0 2761PRN / # OF OBS
G05 3304 3273 0 0 3282 6319 0 0 3046PRN / # OF OBS
G06 2120 1907 2034 0 2064 3453 2034 0 1546PRN / # OF OBS
G07 2976 2088 0 0 2850 2284 0 0 196PRN / # OF OBS
G09 2385 1851 2165 0 2276 2653 2165 0 802PRN / # OF OBS
G13 3438 0 0 0 3435 3422 0 0 3422PRN / # OF OBS
G15 411 274 0 0 379 384 0 0 110PRN / # OF OBS
G28 3438 0 0 0 3435 2869 0 0 2869PRN / # OF OBS
G30 3427 3216 3404 0 3414 5576 3404 0 2360PRN / # OF OBS
R01 1360 1056 0 0 1325 1759 0 0 816PRN / # OF OBS
R06 24 0 0 0 22 0 0 0 0PRN / # OF OBS
R07 2754 2399 0 0 2722 4379 0 0 2243PRN / # OF OBS
R08 2167 1767 0 0 2136 2961 0 0 1314PRN / # OF OBS
R09 2414 2024 0 0 2350 3393 0 0 1655PRN / # OF OBS
R10 3444 3150 0 0 3444 5467 0 0 2410PRN / # OF OBS
R11 2030 1910 0 0 2021 3613 0 0 1775PRN / # OF OBS
R22 18 9 0 0 18 7 0 0 0PRN / # OF OBS
R23 2432 2338 0 0 2415 4498 0 0 2191PRN / # OF OBS
R24 1200 583 0 0 1159 632 0 0 121PRN / # OF OBS
CARRIER PHASE MEASUREMENTS: PHASE SHIFTS REMOVED COMMENT
END OF HEADER
2 1
*** Start of Kinematic Data *** COMMENT
19 2 7 9 19 51.0000000 0 13E02E07E26E27G02G06G07G28G30R07R09R10
R23

```

Ilustración 8, Ejemplo de las primeras líneas de un fichero .o RINEX 2.11



## 9.8 TEQC

TEQC (cuya pronunciación es “tek”) es un conjunto de herramientas de código cerrado pero gratuitas, diseñadas para resolver diferentes problemas cuando se trata de pre-procesar datos GNSS, entre las que se encuentran:

- Traducción de ficheros GNSS en formato del receptor a otros tipos de fichero (RINEX, entre otros).
- Edición de los metadatos, cabeceras y separación/unión de ficheros RINEX.
- Control de calidad de observables GPS/GLONASS, ya sea en formato nativo o RINEX.

TEQC es un programa que usa la línea de comandos de Windows, por lo que debe ejecutarse desde ahí o, en su defecto, crear un fichero .bat que ejecute la orden.

Entre todos los comandos disponibles, se destacan los siguientes (TEQC únicamente admite ficheros RINEX en su versión 2.11):

- `& teqc +meta ficheroentrada`: Devuelve un resumen de los metadatos del fichero de entrada, tanto del fichero RINEX como del fichero nativo del receptor.
- `& teqc +qc ficheroentrada`: Devuelve un fichero .YYS con información de la calidad del fichero de observaciones (ver ilustración 9):

```

elev (deg)  tot slps <MP51 rms, m>      5=%      1|m      15=%      2|m
85 - 90      0      0  0.000000
80 - 85      0      0  0.000000
75 - 80      0      0  0.000000
70 - 75      0      0  0.000000
65 - 70      0      0  0.000000
60 - 65      0      0  0.000000
55 - 60    1006      0  0.038337 |
50 - 55    1008      0  0.041283 |
45 - 50     555      0  0.048430 |
40 - 45      0      0  0.000000
35 - 40      0      0  0.000000
30 - 35      0      0  0.000000
25 - 30     830      0  0.239718 |||||
20 - 25    1786      0  0.339092 |||||||
15 - 20    1760      0  0.252503 |||||
10 - 15     762      0  0.409325 |||||||
 5 - 10      0      0  0.000000
 0 -  5     544      1  0.198212 ||||
 <  0       11      0  0.095516 ||

S/N L1 summary (per elevation bin):
elev (deg)  tot SN1 sig   mean      2|0      4|0      6|0      8|0
85 - 90      83  5.790  51.847 ###|
80 - 85     600  2.237  53.011 #|
75 - 80    1493  1.725  51.122 #|
70 - 75    2310  1.500  50.503 #|
65 - 70    2552  1.435  49.888 #|
60 - 65    1847  1.500  49.429 #|
55 - 60    1808  1.475  50.789 #|
50 - 55    1602  1.535  50.768 #|
45 - 50    1288  1.646  48.834 #|
40 - 45    1173  1.426  47.375 #|
35 - 40    2410  1.795  45.344 #|
30 - 35    3335  1.821  43.107 #|
25 - 30    4647  1.831  41.789 #|
20 - 25    5897  2.238  41.903 #|
15 - 20    4604  2.204  40.819 #|
10 - 15    3124  2.562  40.769 #|
 5 - 10    4038  3.002  37.782 ##|
 0 -  5    1595  4.985  37.555 ##|
 <  0       34  6.830  36.835 ###|

```

Ilustración 9, Ejemplo de las primeras líneas de un fichero .S RINEX 2.11

- & teqc +qc +plot fichero de entrada: Genera los siguientes archivos:
  - .azi .ele: Direcciones de azimut y datos de elevación desde el receptor a los satélites.
  - .dYY .iYY: Valores del retraso ionosférico
  - .mYY: Valores multipath de la combinación de 2 frecuencias.
  - .sn1 .sn2 .sn5: Valores SNR de las bandas L1, L2 y L5 (ver ilustración 10).

```
COMPACT3
GPS_START_TIME 2019 5 28 11 00 7.0000
| 0.0000 19 G14 G26 G31 G21 G29 G25 G02 G24 G12 G32 E01 E09 E24 E26 E12 E05 E33 E31 E21
41.100 37.700 48.700 40.500 52.700 49.700 39.400 44.700 46.400 43.800
14.0000 -1
42.200 37.300 49.300 40.900 52.400 50.700 39.400 45.000 46.300 44.200
15.0000 -1
41.900 37.100 48.000 41.300 52.200 49.700 39.200 45.000 46.000 43.700
16.0000 -1
42.000 37.300 48.400 41.000 51.800 49.500 39.900 44.800 45.600 43.900
17.0000 -1
42.500 36.800 48.700 40.600 51.500 49.700 39.700 44.500 45.900 43.800
18.0000 -1
42.400 36.800 48.800 40.800 52.000 50.000 39.600 44.500 46.400 44.100
19.0000 -1
42.600 36.900 48.700 40.700 52.600 50.700 38.700 44.100 46.100 43.500
20.0000 -1
42.400 37.100 49.000 40.800 52.700 50.800 38.700 44.200 46.400 43.200
21.0000 -1
42.100 37.100 49.300 40.700 53.300 51.000 39.000 43.900 46.400 43.600
22.0000 -1
42.600 36.100 48.700 40.800 53.200 50.700 39.000 43.900 46.500 43.600
23.0000 -1
42.200 36.400 49.400 40.700 52.900 50.000 38.700 43.900 46.500 44.100
24.0000 -1
41.400 36.900 49.600 40.700 53.100 49.800 38.800 43.500 46.600 44.300
25.0000 -1
41.300 37.100 49.700 40.800 52.900 50.000 38.900 43.800 46.500 44.500
26.0000 -1
41.600 36.900 49.500 41.100 52.200 49.400 38.900 44.100 46.300 44.600
```

Ilustración 10, Ejemplo de las primeras líneas de un fichero .sn1 RINEX 2.11

## 9.9 Inicios de las técnicas GNSS-R

Las técnicas GNSS han demostrado ser vitales en muchos ámbitos, tanto en proporcionar el dato espacial como en colaborar con otras disciplinas como la meteorología, donde se busca una señal clara y sin interferencias directa del satélite del que proviene, disminuyendo cualquier tipo de ruido que pueda interferir y empeorar la precisión.

Sin embargo, una de las disciplinas derivadas de estas técnicas es la reflectometría GNSS (GNSS-R), que pretende realizar medidas de la señal reflejada en las diferentes superficies terrestres para extraer información de éstas, desde el porcentaje de humedad del suelo, hasta la existencia de objetos metálicos en el subsuelo.

Podemos tomar como pionero en el estudio del índice de refractividad de las diferentes cubiertas terrestres en las microondas a Thomas Schmugge, desarrollando un modelo que permite relacionar las variaciones de la constante dieléctrica con la humedad del suelo.

Los primeros estudios experimentales sobre GNSS-R, comienzan a principios de los años 80 a manos de Hall-Cordey, y en los años 90 con Martin-Neira ingeniero español y designado como apoyo para el proyecto SMOS de la ESA en el año 2002.

Hall-Cordey propuso el concepto de un “scaterrometro multiestático” para estimar el viento usando un radiómetro capaz de captar señales reflejadas en el océano de la constelación GPS.

Los receptores GNSS-R deben ser capaces de recoger la señal directa del satélite y la señal reflejada de la superficie (lagos, vegetación, suelo desnudo, asfalto, etc...), y correlar la amplitud  $Y_c$  de las dos señales:

$$Y^c(t_0, \tau, f_d) = \frac{1}{T_c} \int_{t_0}^{t_0+T_c} S_R(t) a^*(t-\tau) e^{-j2\pi(f_c + f_d)t} dt$$

Los sistemas “convencionales” que recogen microondas buscan correlar, en un intervalo de tiempo  $T_c$  (normalmente entre 1ms y 19ms), la señal reflejada  $S_r(t)$  con una réplica  $a^*(t - \tau)$  del código C/A generado por el receptor con un retraso  $\tau$  después de la compensación. Sin embargo, como la correlación  $Y_C$  tiene una baja amplitud, sufre de un tipo de ruido speckle<sup>2</sup> que debe ser reducida:

$$\langle |Y^c(\tau, f_d)|^2 \rangle \approx \frac{1}{N_i} \sum_{n=1}^{N_i} |Y^c(t_n, \tau, f_d)|^2$$

Desde el año 2010, los receptores usan la técnica interferométrica para evitar las limitaciones de correlar ambas señales.

Los receptores de ondas interferométricos iGNSS-R o PARIS (nombre del primer receptor de este tipo), son receptores donde la señal reflejada (recogida por una antena con polarización LHCP) no se correla con su réplica, sino con la señal directa (capturada por una antena RHCP).

Volviendo a las ecuaciones anteriores, reemplazando la réplica  $a^*(t - \tau)$  con la señal directa obtenemos:

$$Y^i(t_0, \tau, f_d) = \frac{1}{T_c} \int_{t_0}^{t_0+T_c} S_R(t) S_d^*(t-\tau) e^{-j2\pi(f_c + f_d)t} dt$$

$$\langle |Y^i(\tau, f_d)|^2 \rangle \approx \frac{1}{N_i} \sum_{n=1}^{N_i} |Y^i(t_n, \tau, f_d)|^2$$

Ambos sistemas, cGNSS-R y iGNSS-R, tienen sus ventajas y desventajas, así como aspectos en común. Los dos sistemas necesitan dos antenas con polarización opuesta, RHCP para captar la señal directa y LHCP para la señal reflejada.

---

<sup>2</sup> Ruido Speckle: Interferencia granular inherente a la señal recibida, causado por la reflexión de la luz coherente en una superficie desigual.

Los sistemas cGNSS-R generan la réplica en el receptor y permiten la distinción de los satélites por su PRN, pero debido a su ancho espectro de trabajo, no son precisos para altimetría.

Por otro lado, los sistemas iGNSS-R permiten usar otro tipos de satélite que no sean GNSS (radio, televisión, etc...) pero la antena debe tener unos niveles de ganancia mayores para poder recibir la señal directa del satélite.

Existe otra técnica que utiliza receptores GNSS convencionales y que aporta buenos resultados para Tierra o trabajos de baja altitud, técnica de interferencia de patrones IPT (Interference pattern technique).

### 9.10 Técnicas IPT

Las señales emitidas por las constelaciones GNSS son recibidas por receptores con antenas omni-direccionales, donde la mayoría de la señal recibida se corresponde a la emitida por el propio satélite (señal directa) y una parte, en mayor o menor medida, es debida al efecto multipath (señal reflejada, ver ilustración 11). El resultado se guarda en un fichero RINEX con el SNR de cada observación y, mediante diferentes algoritmos, se pretende separar la contribución de la señal directa (SNR<sub>d</sub>) de la total, obteniendo sólo la parte reflejada (SNR<sub>r</sub>).

El SNR<sub>r</sub> está directamente relacionado con los diferentes parámetros de la superficie reflejada, como el porcentaje de humedad del suelo o la densidad de vegetación.

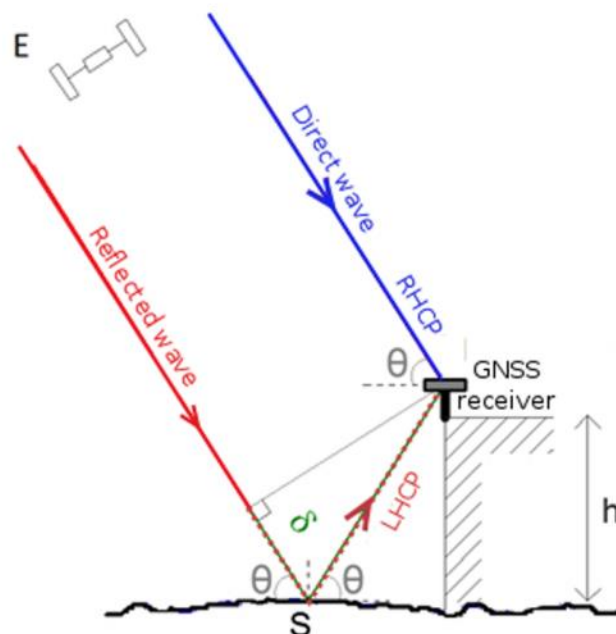


Ilustración 11, Geometría de la señal recibida por los satélites

Para este tipo de análisis, es necesario conocer las características de la antena, ya que una pequeña variación en el patrón de ganancia puede tener un impacto grande en el resultado final.

Por lo general, la polarización de la señal recibida no coincide con el plano de polarización de la antena, ya que no se encuentra colocada de forma ortogonal a la dirección de propagación del campo electromagnético, por lo que debería tenerse en cuenta cuando se modele la ganancia de la antena. El campo eléctrico incidente viene definido por:

$$\vec{E}_i = \hat{\rho}_w E_i$$

Donde  $\hat{\rho}_w$  es el vector de polarización de la onda.

La polarización de la antena es:

$$\vec{E}_a = \hat{\rho}_a E_a$$

Donde  $\hat{\rho}_a$  es el vector de polarización de la antena. Por lo general, las antenas GNSS están polarizadas de manera circular, por lo que hay una pérdida de polarización debido al ángulo de incidencia y la onda recibida. Esto recibe el nombre de factor de pérdida de polarización PLF (Polarization shift lost factor) y es descrito como el producto cuadrado de dos vectores de polarización:

$$PLF = |\hat{\rho}_w \hat{\rho}_a|^2$$

Otro parámetro clave para describir el rendimiento de la captura del dato es la ganancia de señal la antena. Cuanto menor sea la pérdida entre las dos polarizaciones, mayor ganancia habrá:

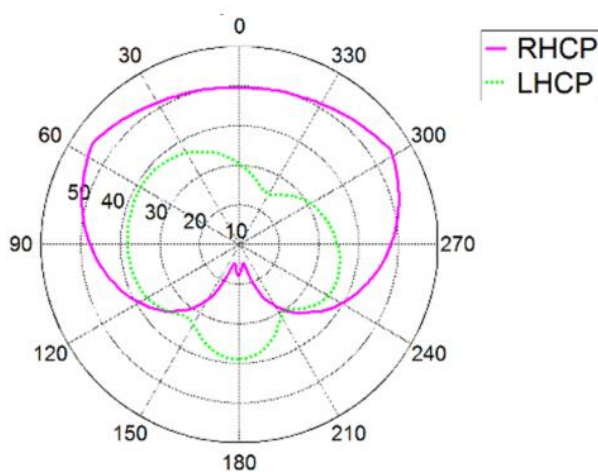


Ilustración 12, Diagrama 2D de los patrones de ganancia de una antena Leica AR10.

En rosa se encuentran los valores de la señal directa en decibelios (sobrestimados a través de los valores que proporciona el fabricante). En verde, los valores de la señal reflejada. [21]

El SNR total capturado por la antena es la suma del SNR<sub>d</sub> y el SNR<sub>r</sub>, y se puede definir como [21]:

$$SNR_t^2(\theta) = A_d^2(\theta) + A_r^2(\theta) + 2A_d(\theta)A_r\theta\cos(\Psi)$$

Donde  $A_r^2$  y  $2A_d$  son las amplitudes de la señal reflejada y directa, y  $\Psi$  es la diferencia de fase entre ambas y  $\theta$  es el ángulo de elevación del satélite. Como la señal directa contribuye la gran parte del SNR total, se puede simplificar eliminando el término  $A_r$ .

El valor total del SNR está dominado por una señal de gran amplitud y baja frecuencia, que se corresponde a la señal directa. La señal reflejada, procedente de satélites con medios y bajos ángulos de elevación, cambia el SNR produciendo altas y medias frecuencias.

Las unidades del SNR son db-Hz, una escala logarítmica, por lo que deben ser convertidas a una escala lineal antes de ser procesadas con la siguiente fórmula [22]:

$$SNR_{VV} = 10^{\frac{SNR_{db-Hz}}{20}}$$

Para analizar la parte de la señal reflejada, en primer lugar, se debe eliminar la contribución del SNR<sub>d</sub>. Sin embargo, esto requiere modelar de manera adecuada los patrones de ganancia de la antena (Ilustración 12) y no siempre es posible (por razones de patentes, por ejemplo), por lo que Larson et. al. [23] propone la substracción de la parte directa mediante la resta de un ajuste un polinomio de bajo orden a los valores de SNR<sub>t</sub>, como se puede ver en la ilustración 13. [23]:

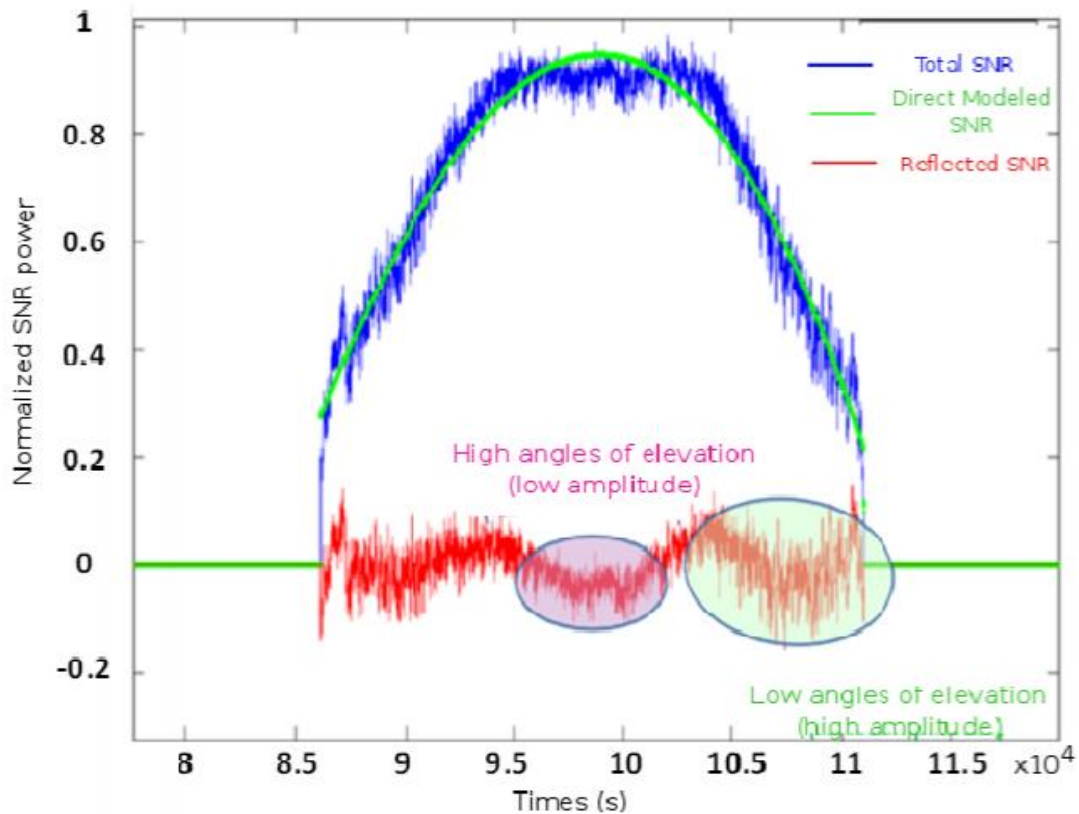


Ilustración 13, Representación de los valores de SNR normalizados.

En azul se representan los valores del SNR<sub>t</sub>, en verde el polinomio de orden 2 que representa la parte directa y en rojo los valores de SNR<sub>d</sub> tras restar el polinomio de orden 2 a la SNR<sub>t</sub>. La elipse verde indica las altas frecuencias cuando el satélite se encuentra en ángulos de elevación bajos y la elipse roja la baja frecuencia al aumentar el ángulo de elevación.

Es por esto que, para obtener unos buenos resultados relacionando SM y SNR<sub>r</sub>, se suele trabajar con ángulos de elevación bajos (de 5° a 30°), para que la contribución de la parte reflejada sea relevante y se pueda estimar, como se detalla en el siguiente apartado, los valores de frecuencia, amplitud y altura del reflector.

### 9.10.1 Obtención de frecuencia, amplitud y altura

Considerando una superficie de reflexión plana, la diferencia de distancia recorrida entre la señal directa y la reflejada es [24]:

$$\delta = 2h * \sin(\theta)$$

Donde h es la altura relativa de la antena (no es necesariamente la altura de la antena, ya que la penetración de la señal en el suelo puede cambiar, dependiendo de las propiedades dieléctricas del medio) y  $\theta$  es el ángulo de elevación del satélite. Esta diferencia también se puede expresar en términos de fase [24]:

$$\psi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda}$$

Donde  $\psi$  es el desfase entre ambas señales y  $\lambda$  es la frecuencia de la señal.



Los valores de SNRr se pueden modelizar mediante [25]:

$$SNR_m(\theta, \varepsilon) = A_m(\theta, \varepsilon) \cos\left(\frac{4\pi H_0}{\lambda} \sin(\theta) + \varphi_m(\theta, \varepsilon)\right)$$

Donde la amplitud y la fase de la señal reflejada dependen del ángulo de reflexión y de la constante dieléctrica del medio [24]. En varios estudios [24, 26, 27] estos valores se han conseguido estimar mediante un ajuste espectral mínimo cuadrático.

### 9.11 SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity)

Se trata de un satélite (Ilustración 14) lanzado el 2 de noviembre de 2009, con el objetivo de realizar observaciones a nivel global de la humedad del suelo y el índice de salinidad de los océanos. [15]

En principio, el satélite fue diseñado para durar 5 años, sin embargo, la misión se extendió hasta el año 2017 con un coste total de 315 millones de euros [16].



Ilustración 14, Satélite SMOS en órbita [15]

Está compuesto por un novedoso radiómetro interferométrico MIRAS (Microwave Imaging Radiometer with Aperture Synthesis), que emplea una antena de obertura de síntesis en forma de 'Y', con el objetivo de medir la radiación emitida por la Tierra y relacionarla con la salinidad de los océanos y la humedad del suelo. Este radiómetro trabaja en la banda L, entre 1400 y 1427 MHz y ofrece una resolución de 50kmx50km (Ilustración 15), pero se ha conseguido mejorar mediante algoritmos hasta el kilómetro cuadrado (Ilustración 16) [17].

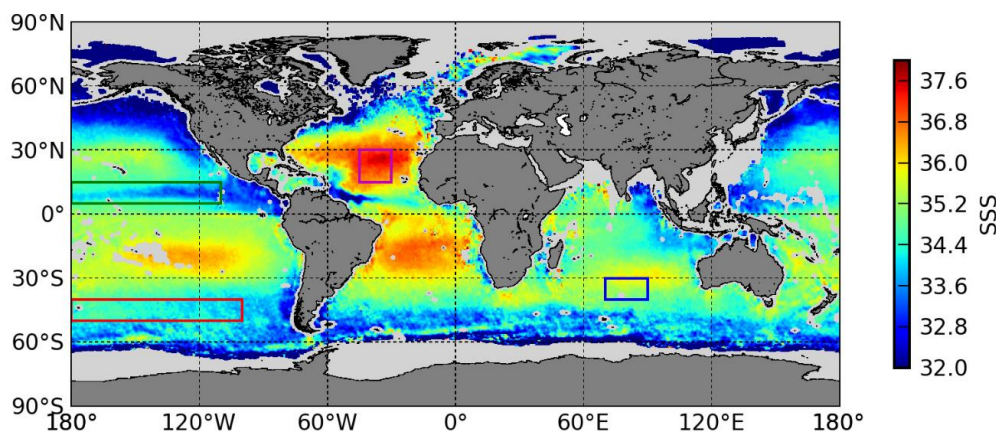


Ilustración 15, Mapa de salinidad global en el año 2009 con una resolución de 50x50km [17]

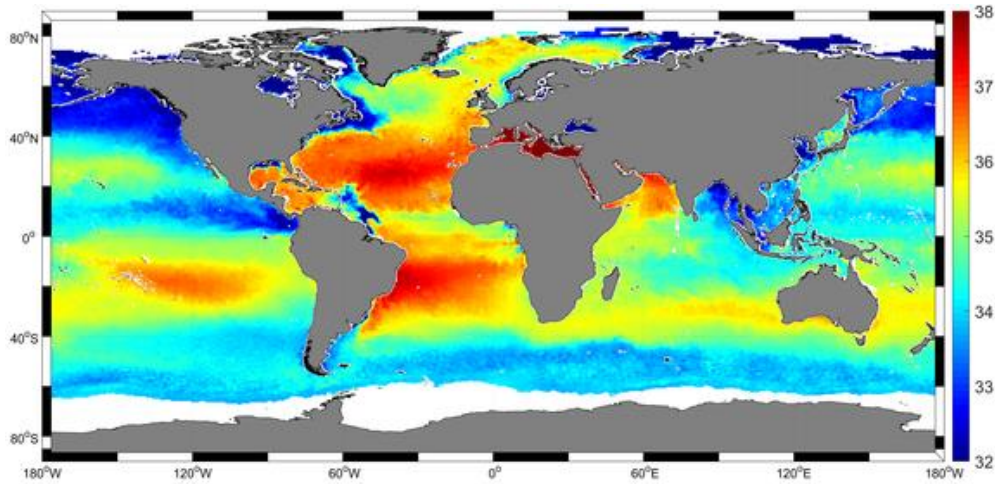


Ilustración 16, Mapa de salinidad global en mayo de 2019 con una resolución un kilómetro cuadrado. [17]

### 9.12 SMIGOL (Soil Moisture Interference-pattern GNSS Observations at L-band)

Este reflectómetro GNSS es un nuevo tipo de instrumento que opera en la banda L1 de los satélites de la constelación GPS y cuantifica la potencia de la señal resultante entre la interferencia de la señal directa y la reflejada (ilustración 18).

El ángulo con el que esta señal es reflejada, depende de la textura de la superficie y del ángulo de elevación del satélite que envíe la señal, y la potencia dependerá de la capacidad de reflexión de la superficie, puesto que una parte de la señal será absorbida (ilustración 17). Esta capacidad reflectiva depende de la constante dieléctrica  $\epsilon$  del medio, que está directamente relacionada con su SM. [18]

Estas observaciones son procesadas y se logra estimar el coeficiente de reflexión del suelo a partir del ángulo de elevación del satélite, (esta información es proporcionada por el propio mensaje de navegación), que se relaciona con los valores de SM.

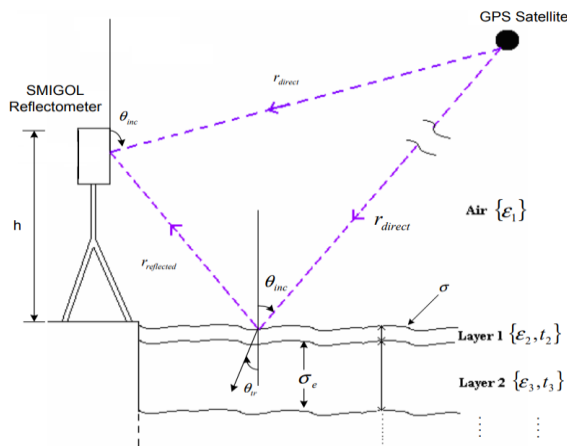


Ilustración 17, Esquema de la geometría del reflector SMIGOL [18]



*Ilustración 18, Imagen del reflector SMIGOL en campo [18]*

### **9.13 OCEANPAL**

La antena OCEANPAL (ilustración 19) es un proyecto a cargo de la ESA y la ESTEC (European Space Research and Technology Centre) cuyo desarrollo tiene como objetivo la explotación de las reflexiones de las ondas GNSS, como antena radar pasiva. Esta antena se instala en puntos de costa o puertos y cuenta con muchas ventajas sobre las boyas de observación que se usan actualmente. Permite obtener información sobre el oleaje y el nivel del mar en tiempo real, con un precio considerablemente menor.

Además, la información se extrae sin estar en contacto con el agua, por lo que se reducen mucho los costes de mantenimiento y puede operar independientemente de las condiciones meteorológicas

El precio de un sensor OCEANPAL es de 20.000€, mientras que una boya marina tiene un coste de 120.000€ y un radar de costa 200.000€, por lo que supone un ahorro considerable [19].



*Ilustración 19, Imagen de la antena OCEANPAL en funcionamiento.*





*Ilustración 21, Ubicación de detalle de la torre ELBARA-II  
Al sur de Bodegas Nodus.*

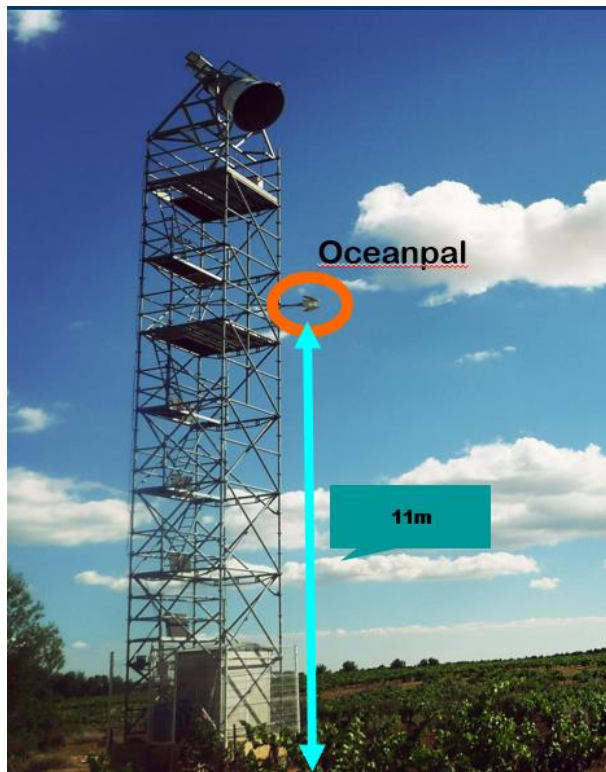


Ilustración 22, Antena oceanpal en la torre meteorológica a 11 metros de altura [28]



Ilustración 23, Imagen de detalle de la instalación de la antena oceanpal [28]

Durante el año 2018, el departamento de fotogrametría espacial de la Universitat de Valencia y la SDAU (Shandong Agricultural University), junto al departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la UPV (Universitat Politècnica de València), comienzan un experimento colocando un receptor GNSS CHC N72 (ilustración 26) proporcionada por la SDAU y un receptor Trimble R10 proporcionado por la UPV.

El objetivo del experimento es, por una parte, encontrar una relación entre el porcentaje de humedad del suelo y el SNR, al mismo tiempo que se pretende detectar el cambio de vegetación cuando las viñas se encuentran en su máximo esplendor vegetativo y justo después de la cosecha (Ilustraciones 24 y 25).



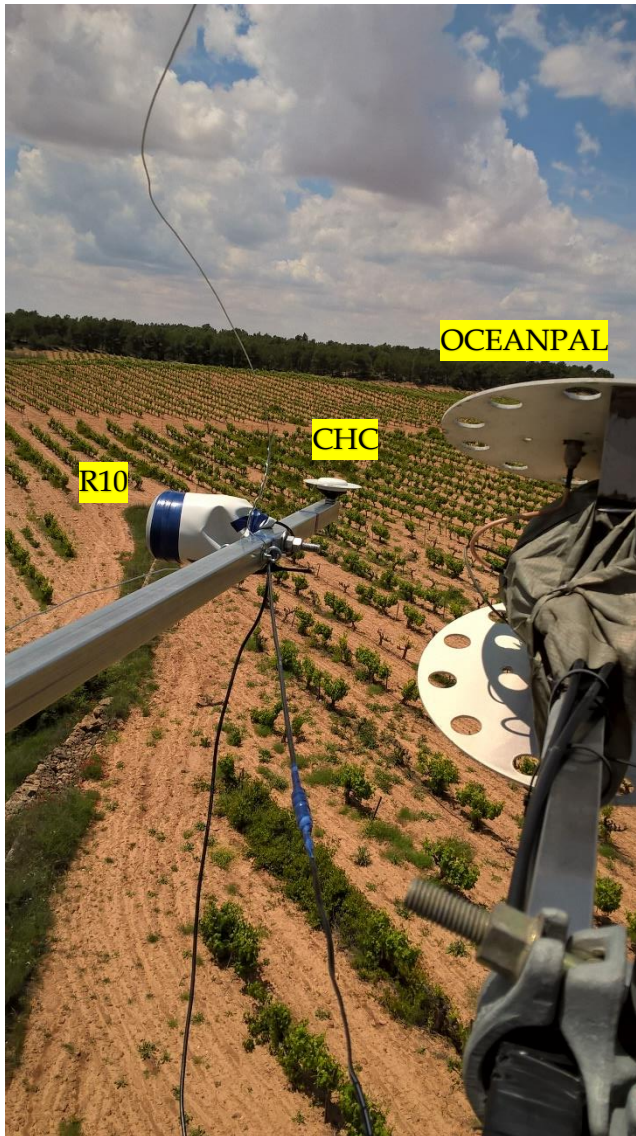
*Ilustración 24, Fotografía de las viñas de Bodegas Nodus previa a su cosecha en el mes de Octubre.*



*Ilustración 25, Fotografía de las viñas de Bodegas Nodus tras la cosecha en el mes de Julio.*



*Ilustración 26, Imagen del receptor CHC*



*Ilustración 27, Antena R10 y CHC junto al OCEANPAL en lo alto de la torre meteorológica.*

La antena CHC ha sido colocada de forma estándar en vertical, mientras que, la antena R10, ha sido colocada en horizontal (ilustración 27) por poseer un sistema anti-multipath que mejora la precisión en la adquisición de datos xyz, pero podría ser contraproducente en GNSSR. Además, se quiere comprobar si la obtención de datos de SNRr mejora al colocarse en posición horizontal. En los anexos número 2 y 3 se puede encontrar más información sobre estas antenas.

Las antenas han sido configuradas para crear una red Wi-Fi a la que se conectará para asegurar su correcto funcionamiento.

En un comienzo, las antenas estaban colocadas a la misma altura que el OCEANPAL, pero la estructura metálica de la torre producía demasiadas interferencias en la señal captada por los receptores, por lo que fueron subidas al siguiente piso de la torre (ilustración 29).



Además, para reducir las interferencias por la torre, se instaló un escudo de rejilla (ilustración 28):



*Ilustración 28, imagen del escudo de rejilla previa a su instalación*



*Ilustración 29, situación final de los receptores*

La fuente de alimentación de los receptores y el disco duro del CHC se encuentran protegidos en una caja metálica en la base del piso (ilustración 30), protegida de las posibles precipitaciones u otros fenómenos meteorológicos.



Ilustración 30, Caja metálica de protección.

En la base de la torre se encuentran instaladas sondas ThetaProbe type ML2X para obtener medidas de humedad del suelo cada 10 minutos, almacenadas en una estación meteorológica automática METEODATA-3000C (ilustración 31).



Ilustración 31, Sonda ThetaProbe ML2X y estación meteorológica automática METEODATA-3000C

### ***10.1.2 Configuración de los receptores y descarga de datos.***

El receptor Trimble R10 ha sido configurado para almacenar medidas cada segundo, de forma continua, todos los días (ilustraciones 32, 33 y 34). Los datos son almacenados en la propia estructura de la antena, y se puede acceder a ellos a través de la red Wi-Fi, así como a la configuración del receptor a través de la IP: [192.168.142.1](http://192.168.142.1)

## Data Logging ?

File System	Size	Available	Auto Delete
/Internal	4 GB	2.919 GB	73% <input type="checkbox"/> <span>Format</span>

Session	Schedule	Status	Enable
<b>DEFAULT</b> Measurements 1 Sec. Positions 1 Sec.	Continuous 1440 Min.	Logging /Internal/201807/30/ 5452488975201807300000.T02	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>test</b> Measurements 1 Sec. Positions 1 Sec.	Continuous 1440 Min.	Disabled	<input type="checkbox"/>

Ilustración 32, Captura de pantalla del apartado de Data Logging del receptor R10

Ilustración 33, Captura de pantalla del directorio donde se almacenan los datos.

Para cada mes se genera una carpeta, y dentro de ésta, una carpeta independiente para cada fichero T02. Pese a que el receptor R10 permite la descarga directa de los datos en fichero RINEX 2.11, y RINEX 3.01, es recomendable usar el software T02toRINEX por posibles fallos en la traducción de las efemérides de los satélites.

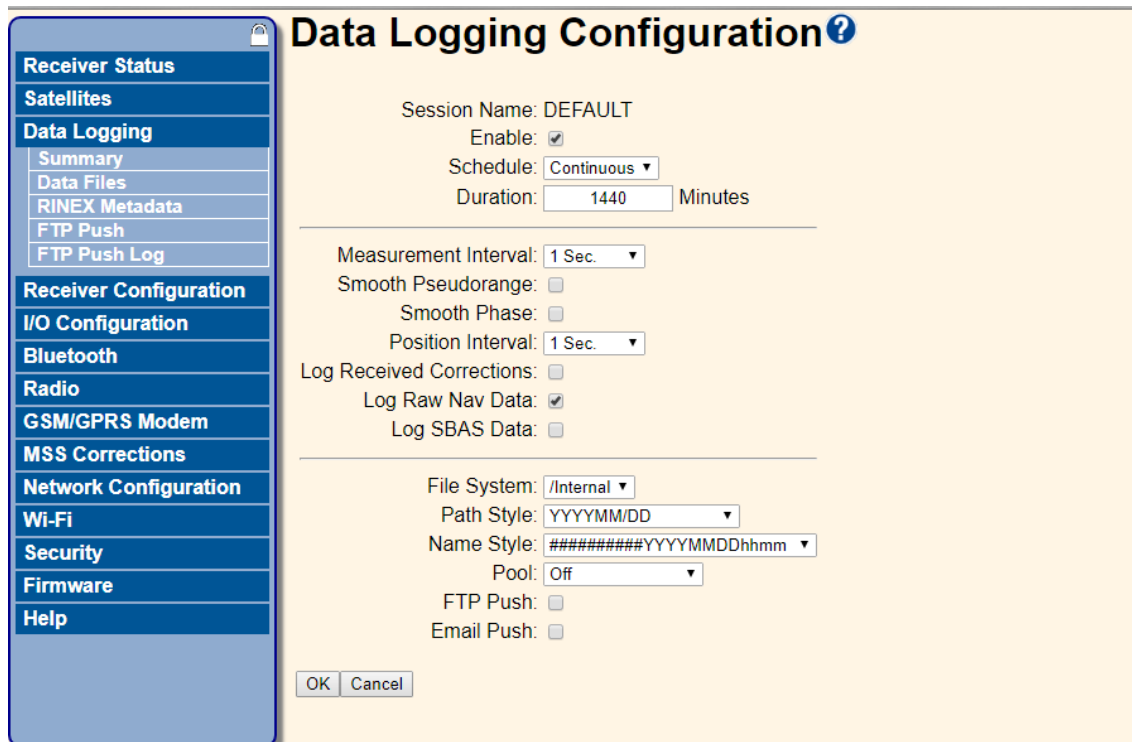


Ilustración 34, Captura de pantalla de la configuración de la sesión.

Se tomarán datos cada segundo para obtener el mayor número de medidas posibles; la precisión en el posicionamiento es irrelevante. Debido a esto, los ficheros T02 no ocupan demasiado espacio (unos 50MB por día), pero, al descomprimirlos, un fichero RINEX de observación .o ronda los 350MB de espacio.

El receptor CHC ha sido configurado del mismo modo (ilustración 35), tomando datos cada segundo y se accede a su configuración a través de la IP: 192.168.200.1. Sin embargo, para agilizar las velocidades de descarga de datos, estos serán transferidos vía USB desde la caja donde se encuentra el disco duro:

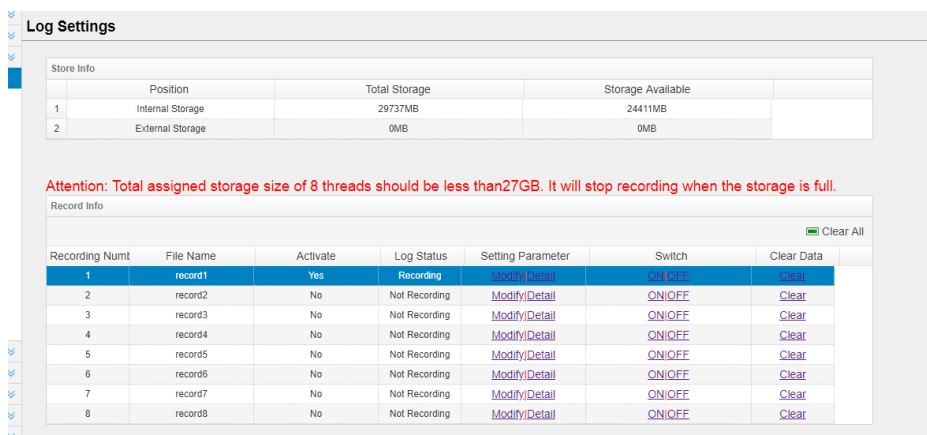


Ilustración 35, Captura de pantalla de la configuración del receptor CHC

Los ficheros .HCN en los que se guarda la información son considerablemente más pesados que los T02 del R10 (150MB por día).

Los datos del receptor CHC están comprimidos en formato .hcn, por lo que, usando el software CHCData (ilustración 36), deben ser transformados al formato estándar RINEX 2.11:

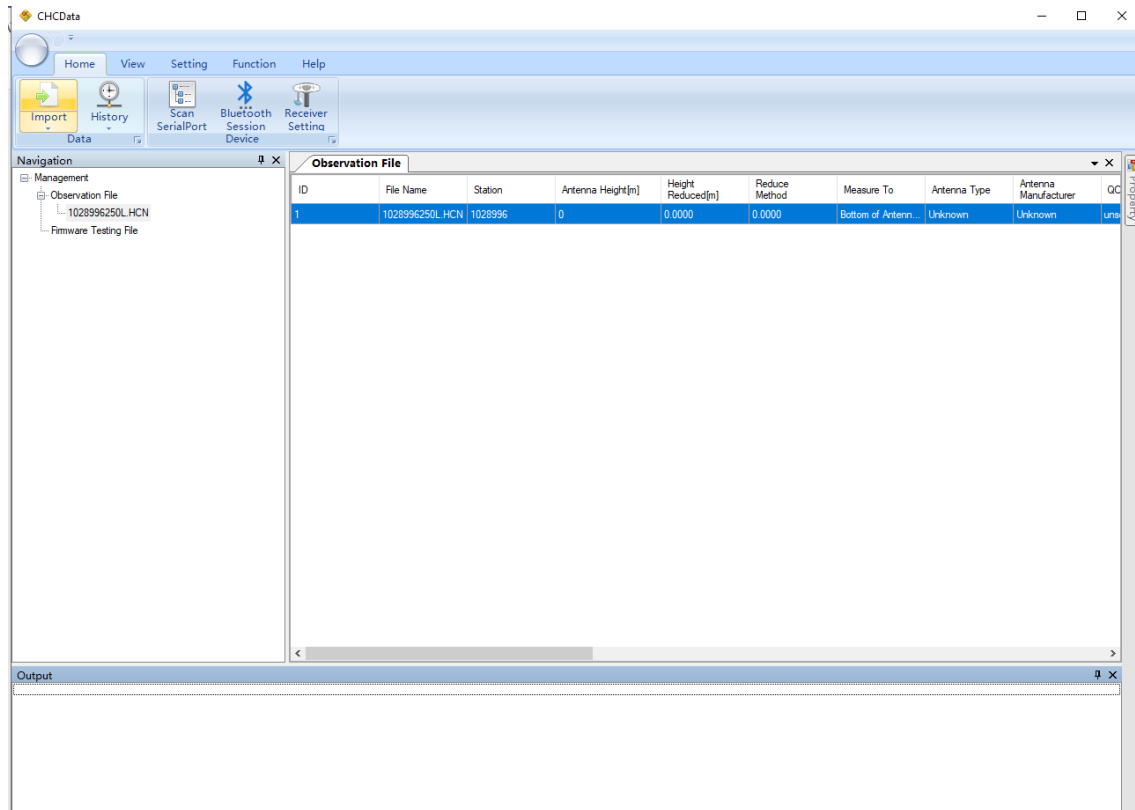


Ilustración 36, Captura de pantalla del programa CHCData con un fichero .hcn cargado. El programa hace una comprobación de calidad del fichero usando TEQC. Debido al tamaño de los datos, los tiempos de carga de los ficheros y de transformación a RINEX son considerablemente altos.

Además, permite visualizar la “ruta” que han seguido los satélites observados y los valores de SNR según su elevación (ilustración 37):

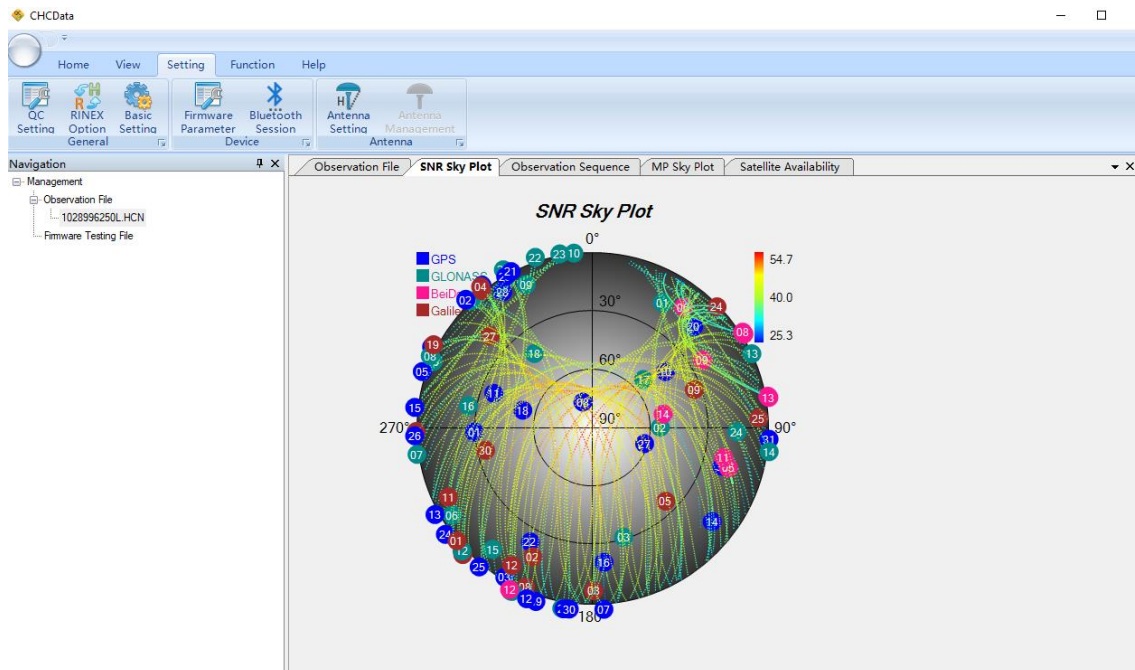


Ilustración 37, Captura de pantalla de la representación de los valores de SNR según satélite y ángulo de elevación.

Otra herramienta para visualizar la ruta que siguen los satélites y poder visualizar y planear los intervalos de visibilidad de éstos es *Trimble GNSS Planning*. Esta herramienta también cuenta con una opción online desde su página web <https://www.gnssplanning.com/#/settings>. En la ilustración 38 se pueden ver los parámetros de configuración, así como la opción de activar o desactivar las diferentes constelaciones de satélites.

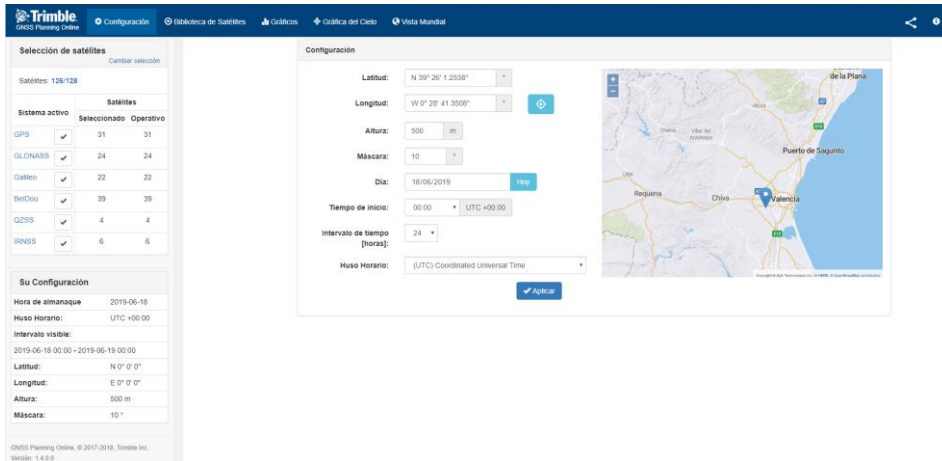


Ilustración 38, Trimble GNSS Planning Online

En el apartado *Gráfica del Cielo*, y como se puede observar en la ilustración 39, la herramienta proporciona representación de como los satélites aparecen y desaparecerán de la vista del receptor colocado en la latitud y longitud que hayamos determinado en el apartado anterior.

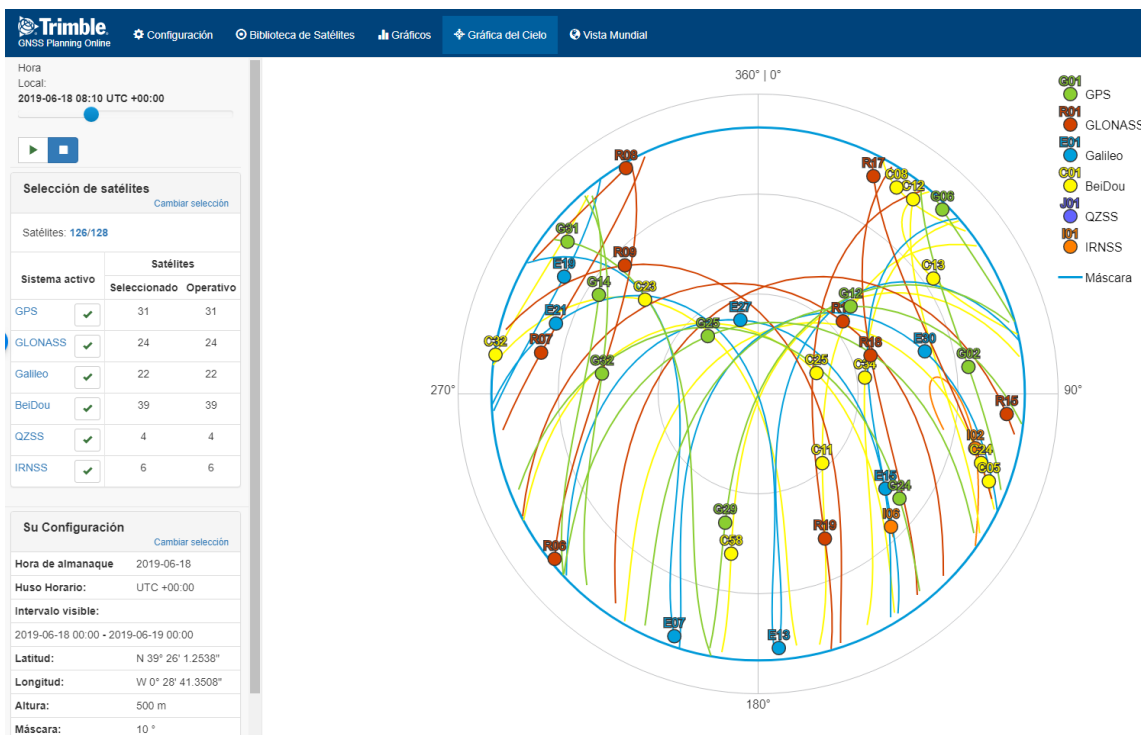


Ilustración 39, Representación de los satélites para un instante UTC +00.00 para el 18 de junio de 2019.

La descompresión de un fichero .hcn a RINEX quintuplica su tamaño en disco (de 150MB a 750MB por día).

Del mismo modo, los datos del receptor R10 están comprimidos en formato .t02, por lo que serán convertidos al formato estándar usando el software ConvertToRinex de UNAVCO<sup>3</sup> (ilustración 40):

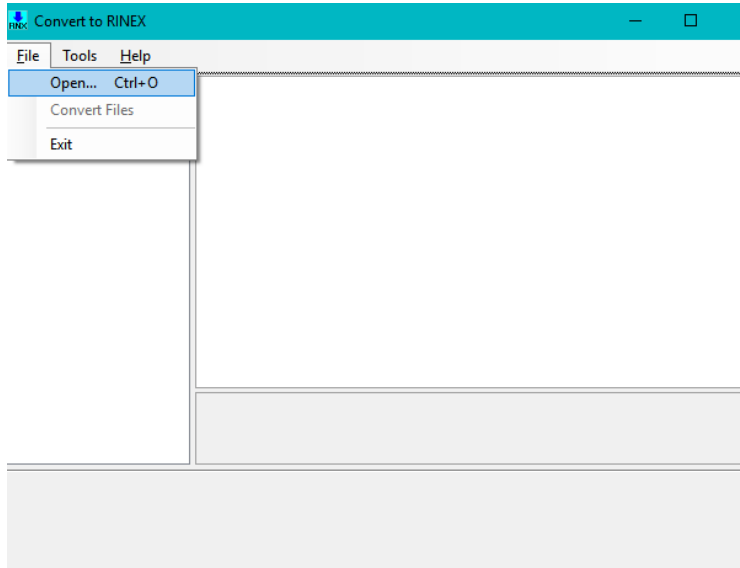
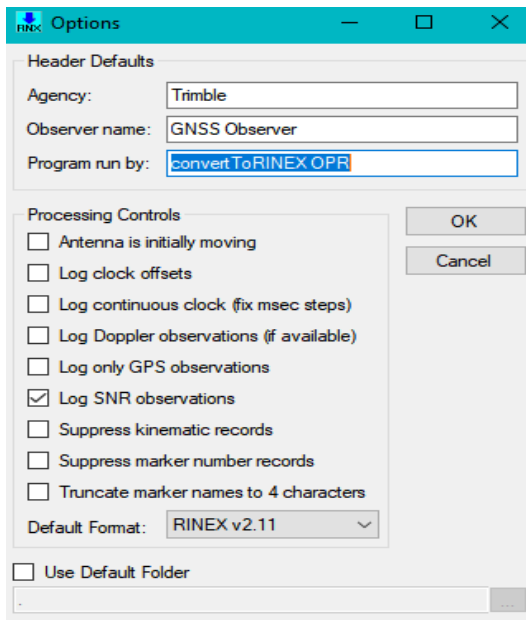


Ilustración 40, Carga de datos de un fichero .t02 del receptor R10.



Es importante comprobar que en el cuerpo del RINEX aparezcan los valores de SRN, para ello, se revisará la configuración, como se muestra en la Ilustración 41, para tener la certeza de que la opción correspondiente está activada.

Ilustración 41, Captura de pantalla de las opciones

disponibles en ConvertToRinex.

Es necesario marcar la casilla "Log SNR observations" para obtener los valores en una escala logarítmica db-Hz, ya que Trimble ordena los valores iniciales de SNR en una escala de 1-10.

<sup>3</sup> UNAVCO es un consorcio sin ánimo de lucro de universidades que desarrollan y educan en el ámbito de la Geodesia

### 10.1.3 Procesamiento de datos.

Para procesar los datos y extraer la información necesaria de forma semi-automática, se han desarrollado dos scripts y dos funciones de *Matlab*.

#### 10.1.3.1 SNRPRN.m

Este script de Matlab procesa los ficheros rinex de los años 2018 y 2019 que se encuentren ubicados en la carpeta de trabajo que se haya definido, usando los sistemas GPS y GALILEO.

En primer lugar, el programa inicia TEQC (debe estar instalado en la ruta donde se encuentra el script de Matlab) con los siguientes comandos:

```
teqc +qc +plots -R -nav
```

Realiza un análisis de calidad de los datos y genera los ficheros de representación gráfica, obviando las observaciones GLONASS.

Tras comprobar los datos y generar los ficheros de representación, la función LeerTEQC.m extrae toda la información a una matriz.

Esta función lee línea por línea (ilustración 42 y 43) los datos de los ficheros de TEQC y los ordena en una única matriz (ilustración 44).

---

```
0.0000 25 G32 G01 G18 G10 G03 G08 G11 G14 G16 G20 G22 G27 G28 G30 C05 C09 C06 C14 C11 E09 E02 E30 E03 E05 E27
```

---

Ilustración 42, Línea de un fichero .ele donde se indica: el segundo de observación, el número de satélites y los satélites. G para GPS, C para Beidou y E para Galileo.

---

```
22.864 32.636 56.392 38.310 5.810 80.339 40.304 15.000 15.948 11.585 28.076 58.543 10.239 0.365 -37.214 31.076 -9.291 -66.318 -15.693 33.435 13.054 31.419 11.240 40.612 20.181
```

---

Ilustración 43, Línea siguiente a la anterior donde se encuentran los valores de elevación de los satélites anteriores, en orden.

0	71	32	22.8640
0	71	1	32.6360
0	71	18	56.3920
0	71	10	38.3100
0	71	3	5.8100
0	71	8	80.3390
0	71	11	40.3040
0	71	14	15
0	71	16	15.9480
0	71	20	11.5850
0	71	22	28.0760
0	71	27	58.5430
0	71	28	10.2390
0	71	30	0.3650
0	67	5	-37.2140
0	67	9	31.0760
0	67	6	-9.2910
0	67	14	-66.3180
0	67	11	-15.6930
0	69	9	33.4350
0	69	2	13.0540
0	69	30	31.4190
0	69	3	11.2400
0	69	5	40.6120
0	69	27	20.1810
NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN

Ilustración 44, Matriz donde se ordenan los datos.

El primer campo es el segundo de la observación, el segundo el sistema (71 para GPS, 69 para GALILEO), el tercero el PRN y el cuarto el valor del observable.



Estas matrices son leídas por el programa principal y recorridas para cada variable (Elevación, SNRL1, SNRL2, SNRL5 y Azimut) según el satélite y el sistema. Los datos quedan almacenados (ilustración 45 y 46) y separados según sean GPS o GALILEO:

PRN	SISTEMA	Elevacion	SNRL1	SNRL2	SNRL5
1	71	27861x2 double	24568x2 double	24502x2 double	24562x2 double
2	71	35660x2 double	34403x2 double	34218x2 double	[]
3	71	27771x2 double	25894x2 double	25796x2 double	25809x2 double
5	71	31208x2 double	30240x2 double	29646x2 double	[]
6	71	32814x2 double	31122x2 double	30851x2 double	31063x2 double
7	71	33192x2 double	31022x2 double	30847x2 double	[]
8	71	26337x2 double	23009x2 double	22846x2 double	22982x2 double
9	71	26056x2 double	24540x2 double	24447x2 double	24517x2 double
10	71	34677x2 double	32110x2 double	31995x2 double	32061x2 double
11	71	26679x2 double	23228x2 double	23051x2 double	[]
12	71	26413x2 double	26046x2 double	25896x2 double	[]
13	71	27464x2 double	27092x2 double	26881x2 double	[]
14	71	35880x2 double	32193x2 double	31780x2 double	[]
15	71	26618x2 double	24448x2 double	24330x2 double	[]
16	71	30296x2 double	26982x2 double	25703x2 double	[]
17	71	35193x2 double	32893x2 double	32477x2 double	[]
18	71	27862x2 double	24573x2 double	24453x2 double	[]
19	71	34905x2 double	32465x2 double	32146x2 double	[]
20	71	35336x2 double	32408x2 double	32089x2 double	[]
21	71	32146x2 double	30350x2 double	29832x2 double	[]
22	71	27501x2 double	24192x2 double	24178x2 double	[]
23	71	29568x2 double	26893x2 double	26090x2 double	[]
24	71	27838x2 double	27463x2 double	27370x2 double	27415x2 double
25	71	27851x2 double	27315x2 double	27271x2 double	27309x2 double
26	71	25742x2 double	24184x2 double	24128x2 double	24163x2 double
27	71	27675x2 double	25797x2 double	25729x2 double	25753x2 double
28	71	35675x2 double	33087x2 double	32540x2 double	[]
29	71	28371x2 double	25864x2 double	24817x2 double	[]
30	71	30404x2 double	27572x2 double	27332x2 double	27503x2 double
31	71	32946x2 double	30892x2 double	30647x2 double	[]
32	71	35506x2 double	32034x2 double	31870x2 double	32012x2 double

Ilustración 45, Matriz con los valores ordenados para el sistema GPS.

Dentro de cada campo se encuentra el valor de la observación y el tiempo en el que se ha captado.

1	2
0	32.6310
1	32.6360
2	32.6420
3	32.6470
4	32.6520
5	32.6580
6	32.6630
7	32.6690
8	32.6740
9	32.6800
10	32.6850
11	32.6900
12	32.6960
13	32.7010
14	32.7070
15	32.7120

Ilustración 46, Matriz con valores.

La primera columna corresponde al segundo de la observación y la segunda al valor, en este caso, la elevación del satélite.

Es posible que el satélite desaparezca durante un periodo del día y vuelva a aparecer más tarde, con otros valores de elevación muy distintos a los anteriores (ilustración 47):

2445	26.2510
2446	26.2570
2447	26.2630
2448	26.2690
36216	0.0410
36217	0.0420

Ilustración 47, Apariciones del satélite.

Desaparece en el segundo 2448 y vuelve a reaparecer 9 horas después.

27699	46.1670
27700	46.1670
27701	46.1670
27702	46.1670
27703	46.1670
27704	46.1670
27705	46.1680
27706	46.1680
27707	46.1680
27708	46.1680
27709	46.1680
27710	46.1680
27711	46.1680
27712	46.1680
27713	46.1680
27714	46.1680
27715	46.1680
27716	46.1680
27717	46.1680
27718	46.1680
27719	46.1680
27720	46.1680
27721	46.1680
27722	46.1680
27723	46.1680
27724	46.1680
27725	46.1680
27726	46.1680
27727	46.1680
27728	46.1680
27729	46.1680
27730	46.1680
27731	46.1680
27732	46.1680
27733	46.1680
27734	46.1680
27735	46.1680
27736	46.1680
27737	46.1680
27738	46.1670
27739	46.1670
27740	46.1670

Esta discontinuidad en los datos se debe eliminar, ya que el ajuste de segundo orden que se realiza posteriormente necesita que los datos sean continuos; se eliminan los datos posteriores al primer punto de discontinuidad.

Además, los satélites se pueden encontrar en su parte ascendente (los valores de elevación aumentan hasta llegar a su cenit) o descendente (los valores de elevación disminuyen) y deben separarse también.

En la ilustración 48, se puede observar como el satélite aumenta su valor de elevación (varía muy poco, ya que está llegando a su cenit) y comienzan a disminuir.

Todos los valores después de alcanzar el cenit son descartados, quedando solo la parte ascendente de la órbita.

También debe tenerse en cuenta, para según qué situaciones, el acimut del satélite respecto al receptor. El fichero .azi de TEQC proporciona el azimut que forma el satélite con el receptor situando los 0° en el norte geográfico. Para la situación de ELBARA-II, se deberían filtrar todos los satélites que se encuentre entre 180° y 360° para evitar los efectos de la arboleda (ilustración 49).

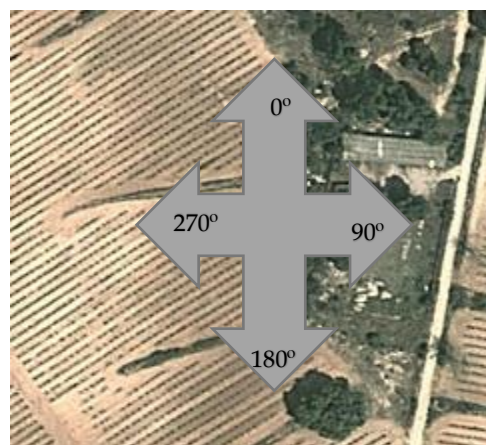


Ilustración 48, El satélite alcanza su cenit.

Ilustración 49, Croquis angular de ELBARA-II

Una vez se dispone de datos continuos y ascendentes, se seleccionan sólo los satélites con elevaciones bajas (entre 10° y 20° de elevación, por ejemplo) y en un rango de azimut determinado (180-360°). En la ilustración 50 se puede ver la matriz de datos procesados para una toma de datos

PRN	L1db	L2db	L5db	L1VV	L2VV	L5VV	L1MVV	L2MVV	L5MVV	L1DVV	L2DVV	L5DVV
1	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
2	1662x3 dou...	1662x3 dou...	[]	1662x3 dou...	1662x3 dou...	[]	1662x1 dou...	1662x1 dou...	[]	1662x1 dou...	1662x1 dou...	[]
3	1454x3 dou...	1454x3 dou...	1454x3 dou...	1454x3 dou...	1454x3 dou...	1454x3 dou...	1454x1 dou...	1454x1 dou...	1454x1 dou...	1454x1 dou...	1454x1 dou...	1454x1 dou...
5	1695x3 dou...	1695x3 dou...	[]	1695x3 dou...	1695x3 dou...	[]	1695x1 dou...	1695x1 dou...	[]	1695x1 dou...	1695x1 dou...	[]
6	1641x3 dou...	1641x3 dou...	1641x3 dou...	1641x3 dou...	1641x3 dou...	1641x3 dou...	1641x1 dou...	1641x1 dou...	1641x1 dou...	1641x1 dou...	1641x1 dou...	1641x1 dou...
7	1509x3 dou...	1509x3 dou...	[]	1509x3 dou...	1509x3 dou...	[]	1509x1 dou...	1509x1 dou...	[]	1509x1 dou...	1509x1 dou...	[]
8	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
9	920x3 double	920x3 double	920x3 double	920x3 double	920x3 double	920x3 double	920x1 double	920x1 double	920x1 double	920x1 double	920x1 double	920x1 double
10	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
11	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
12	1391x3 dou...	1391x3 dou...	[]	1391x3 dou...	1391x3 dou...	[]	1391x1 dou...	1391x1 dou...	[]	1391x1 dou...	1391x1 dou...	[]
13	1884x3 dou...	1884x3 dou...	[]	1884x3 dou...	1884x3 dou...	[]	1884x1 dou...	1884x1 dou...	[]	1884x1 dou...	1884x1 dou...	[]
14	967x3 double	967x3 double	[]	967x3 double	967x3 double	[]	967x1 double	967x1 double	[]	967x1 double	967x1 double	[]
15	1773x3 dou...	1773x3 dou...	[]	1773x3 dou...	1773x3 dou...	[]	1773x1 dou...	1773x1 dou...	[]	1773x1 dou...	1773x1 dou...	[]
16	[0 40.1000 1...	[0 19.6000 1...	[]	[0 101.1579 ...	[0 9.5499 15...	[]	101.1579	9.5499	[]	0	1.7764e-15	[]
17	1592x3 dou...	1592x3 dou...	[]	1592x3 dou...	1592x3 dou...	[]	1592x1 dou...	1592x1 dou...	[]	1592x1 dou...	1592x1 dou...	[]
18	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
19	1022x3 dou...	1022x3 dou...	[]	1022x3 dou...	1022x3 dou...	[]	1022x1 dou...	1022x1 dou...	[]	1022x1 dou...	1022x1 dou...	[]
20	[0 37.4000 1...	[0 22 11.5920]	[]	[0 74.1310 1...	[0 12.5893 1...	[]	74.1310	12.5893	[]	0	0	[]
21	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
22	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
23	1436x3 dou...	1436x3 dou...	[]	1436x3 dou...	1436x3 dou...	[]	1436x1 dou...	1436x1 dou...	[]	1436x1 dou...	1436x1 dou...	[]
24	1740x3 dou...	1739x3 dou...	1739x3 dou...	1740x3 dou...	1739x3 dou...	1739x3 dou...	1740x1 dou...	1739x1 dou...	1739x1 dou...	1740x1 dou...	1739x1 dou...	1739x1 dou...
25	1551x3 dou...	1551x3 dou...	1551x3 dou...	1551x3 dou...	1551x3 dou...	1551x3 dou...	1551x1 dou...	1551x1 dou...	1551x1 dou...	1551x1 dou...	1551x1 dou...	1551x1 dou...
26	1911x3 dou...	1911x3 dou...	1911x3 dou...	1911x3 dou...	1911x3 dou...	1911x3 dou...	1911x1 dou...	1911x1 dou...	1911x1 dou...	1911x1 dou...	1911x1 dou...	1911x1 dou...
27	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
28	2022x3 dou...	2022x3 dou...	[]	2022x3 dou...	2022x3 dou...	[]	2022x1 dou...	2022x1 dou...	[]	2022x1 dou...	2022x1 dou...	[]
29	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
30	1448x3 dou...	1448x3 dou...	1448x3 dou...	1448x3 dou...	1448x3 dou...	1448x3 dou...	1448x1 dou...	1448x1 dou...	1448x1 dou...	1448x1 dou...	1448x1 dou...	1448x1 dou...
31	1681x3 dou...	1681x3 dou...	[]	1681x3 dou...	1681x3 dou...	[]	1681x1 dou...	1681x1 dou...	[]	1681x1 dou...	1681x1 dou...	[]
32	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

Ilustración 50, Estructura de la matriz de datos.

Los satélites que en ningún momento se encuentran entre los valores de elevación determinados tienen valores nulos []. Las columnas L1db, L2db y L5db contienen los valores de segundo, SNR y elevación en db-Hz. Las columnas VV contienen los valores linealizados a Voltios/Voltios. Las columnas MVV contienen los valores de la señal directa obtenidos por el ajuste de segundo orden en Voltios/Voltios. Las columnas DVV contienen los valores de la señal reflejada obtenida tras la resta directa de la columna MVV a las VV.

Tras ello, se realiza un cambio de unidades de db-Hz a V/V según la fórmula [23]:

$$SNR_{VV} = 10^{\frac{SNR_{db-Hz}}{20}}$$

Con los valores en una escala lineal, se procede a realizar el ajuste de segundo orden para quitar la parte del SNRd al SNRt.

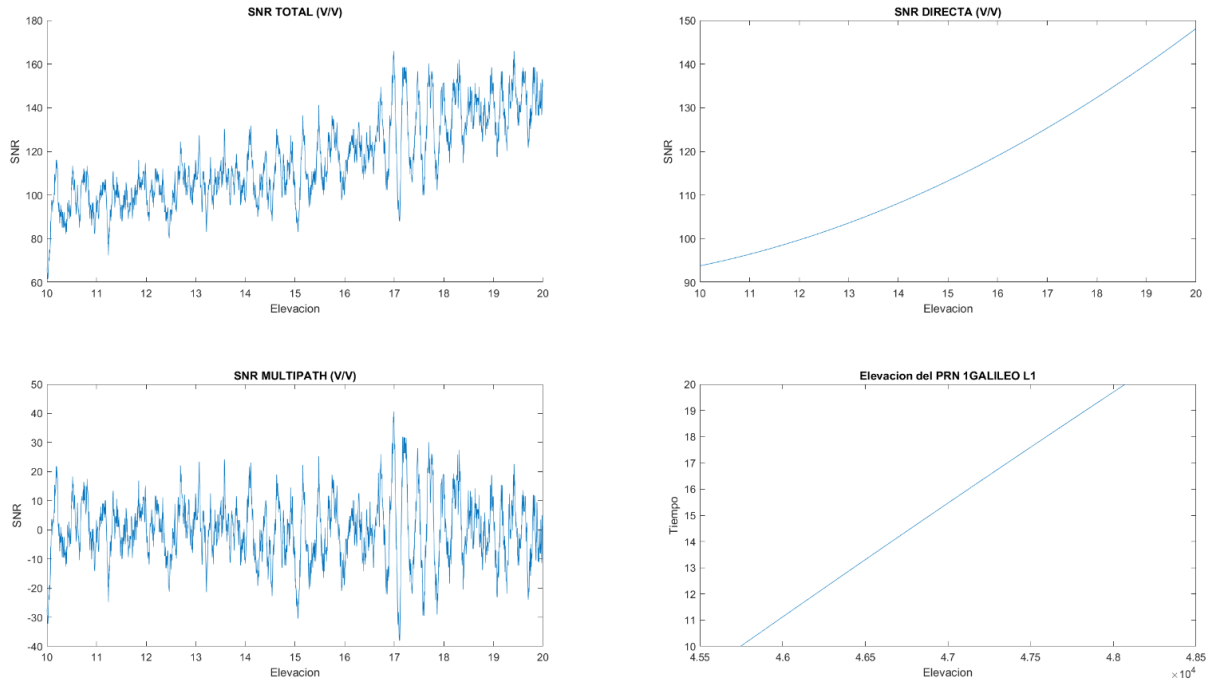


Ilustración 51, Representación de los resultados obtenidos. La primera gráfica representa, en el eje Y los valores del SNRt de toda la observación, y en el eje X el rango de elevación. La segunda gráfica representa, en el eje Y, la contribución de la señal directa SNRd en la total SNRt. En la tercera gráfica se muestra la parte correspondiente al efecto multipath tras la resta de la parte directa. La última gráfica muestra la elevación del satélite en función del tiempo.

Una vez la parte directa es restada a la total, se representan los resultados. En la ilustración 51 se puede ver un ejemplo de una gráfica de resultados, indicando el PRN, el sistema y la banda. Para un día completo de datos, se obtiene una media de 60 gráficas (ilustración 52), que son almacenadas según el día del mes en la carpeta de trabajo (ilustración 53). En esta misma carpeta también se almacenan las matrices que contienen todos los datos procesados en formato .mat.

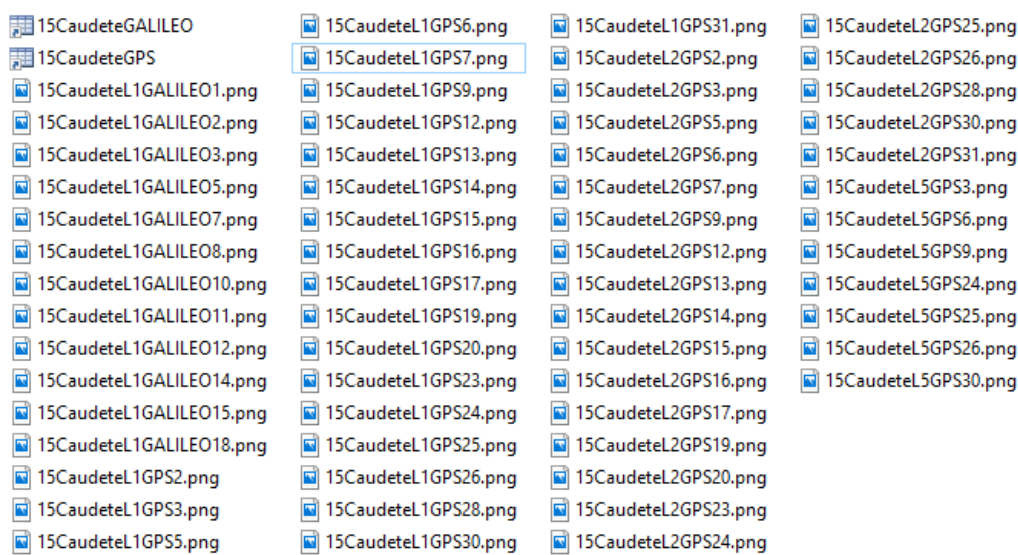
















Ilustración 52, Datos procesados del día 15 de Julio de 2018 para el receptor R10.

 Dia15	12/06/2019 16:59	Carpeta de archivos
 Dia16	12/06/2019 17:05	Carpeta de archivos
 Dia17	12/06/2019 17:11	Carpeta de archivos
 Dia18	12/06/2019 17:16	Carpeta de archivos
 Dia19	12/06/2019 17:22	Carpeta de archivos
 Dia20	12/06/2019 17:28	Carpeta de archivos
 Dia21	12/06/2019 17:34	Carpeta de archivos
 Dia22	12/06/2019 17:40	Carpeta de archivos
 Dia23	12/06/2019 17:46	Carpeta de archivos
 Dia24	12/06/2019 18:01	Carpeta de archivos
 Dia25	12/06/2019 18:17	Carpeta de archivos
 Dia26	12/06/2019 18:33	Carpeta de archivos
 Dia27	12/06/2019 18:39	Carpeta de archivos
 Dia28	12/06/2019 18:44	Carpeta de archivos

*Ilustración 53, Carpetas generadas por el programa donde se encuentran los datos de la figura anterior.*

### 10.1.3.2 ajusteLSQ.m

Este script lee los archivos .mat de las carpetas de resultados del script *SNRPRN.m* y realiza un análisis espectral mínimo cuadrático (Least-squares spectral analysis (LSSA)) de la señal procesada para descomponerla en sus dos principales componentes (amplitud y fase) [24, 26, 27]. Se utiliza el algoritmo *Lomb-Scargle Periodogram* con la función de Matlab *plomb*.

La matriz de resultados de este script se puede ver en las ilustraciones 54 y 55:

Fields	Dia	Tiempo	PRN	AmplitudL1	FaseL1	MediaMultipathL1	MediaMultipathL1Norm	MedialL1	MedialL1Norm	AmplitudL2	FaseL2	MediaMultipathL2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1880x1 dou...	16	-16.4662	-0.7964	-6.5309e-15	0.3971	71.9821	0.3918	1.3603	-1.2449	4.5373e-15
3	2	1951x1 dou...	16	-18.3342	-1.3119	-4.7782e-14	0.5539	72.7722	0.5602	-1.4724	-0.1484	-7.0702e-15
4	3	1978x1 dou...	16	-22.1077	-0.0386	9.0524e-16	0.4679	76.4526	0.4757	1.1639	-0.6339	-9.5513e-15
5	4	666x1 double	16	17.0626	-1.3851	-4.9949e-13	0.4389	70.7579	0.4249	-1.4123	0.2168	2.3059e-14
6	1	3463x1 dou...	21	-13.2003	0.4540	-1.1424e-14	0.4737	101.1193	0.5042	1.0601	1.4206	5.2696e-15
7	2	3463x1 dou...	21	-20.7848	0.3237	3.6834e-14	0.5111	109.0028	0.5760	-3.0699	-0.4252	4.4114e-16
8	3	3463x1 dou...	21	-16.8211	0.4679	2.8344e-14	0.4864	95.0909	0.5809	-2.3221	0.4076	-1.6052e-15
9	4	3404x1 dou...	21	-16.9218	1.0774	-6.1018e-14	0.5293	94.2322	0.5851	-2.0449	-0.1083	1.3495e-15
10	5	3400x1 dou...	21	-19.8737	1.3732	9.6132e-15	0.5548	114.2669	0.5817	-2.9069	0.6442	-4.3106e-15
11	1	4473x1 dou...	26	-19.2611	-0.3765	-1.6641e-14	0.5096	93.5389	0.5396	-12.8141	-1.4823	-1.1454e-14
12	2	4630x1 dou...	26	21.2305	0.8426	-1.5488e-14	0.4600	89.5471	0.5839	18.5687	1.3124	-4.1374e-15
13	3	4490x1 dou...	26	-16.7770	-0.1895	-1.7737e-14	0.4791	96.5232	0.5250	-18.6897	0.1347	1.6929e-14
14	4	4498x1 dou...	26	-20.2533	0.5683	-5.4057e-15	0.4363	100.4079	0.5099	-20.8448	1.3327	-1.8846e-14
15	5	3788x1 dou...	26	-19.9691	-1.1584	-9.9003e-15	0.5005	95.5621	0.5397	-24.8115	0.5841	-9.5880e-16
16	1	2780x1 dou...	31	16.0160	-0.5161	2.4976e-14	0.5335	130.1455	0.4849	-6.0345	-0.8740	1.2759e-14
17	2	2354x1 dou...	31	-6.8500	0.4480	-3.9819e-14	0.3624	121.4320	0.5532	8.9729	-0.6590	-3.2213e-14
18	3	2341x1 dou...	31	-23.1398	0.0783	-4.2954e-14	0.4837	140.0472	0.5338	17.2777	-1.3147	-3.3266e-15
19	4	2868x1 dou...	31	-24.1297	1.2923	-2.2406e-14	0.5171	143.4267	0.5218	-14.3812	0.7775	1.5945e-14
20	5	2566x1 dou...	31	-20.9219	0.8211	3.8977e-14	0.4615	135.2185	0.5315	-14.0912	0.9926	2.7746e-14
21	1	[]	99	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
22	1	[]	99	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
23	1	[]	99	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
24	1	[]	99	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
25	1	[]	99	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
26	1	[]	99	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

Ilustración 54, Primera parte de la matriz de resultados

Fields	MediaMultipathL2Norm	MedialL2	MediaL2Norm	AmplitudL5	FaseL5	MediaMultipathL5	MediaMultipathL5Norm	MedialL5	MediaL5Norm	DesvL1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.3511	10.7276	0.3452	[]	[]	[]	[]	[]	[]	16.2377
3	0.5193	11.1706	0.3803	[]	[]	[]	[]	[]	[]	16.7766
4	0.3709	11.0837	0.4347	[]	[]	[]	[]	[]	[]	16.9861
5	0.3708	10.0351	0.4915	[]	[]	[]	[]	[]	[]	15.0927
6	0.4953	17.2901	0.2938	[]	[]	[]	[]	[]	[]	13.9755
7	0.5116	20.8620	0.4006	[]	[]	[]	[]	[]	[]	17.5288
8	0.4872	17.3265	0.3820	[]	[]	[]	[]	[]	[]	15.0259
9	0.4863	16.3607	0.3726	[]	[]	[]	[]	[]	[]	15.1947
10	0.5116	23.4924	0.3825	[]	[]	[]	[]	[]	[]	18.3477
11	0.6560	127.9672	0.6220	-22.4878	-1.1400	-8.3167e-14	0.6256	201.5128	0.6619	20.6853
12	0.5775	126.3378	0.5802	26.5952	1.3363	-1.9171e-14	0.5828	196.9409	0.6317	21.7912
13	0.4961	130.4437	0.5425	-26.2824	0.0677	-6.3826e-15	0.5957	202.7212	0.6111	16.1703
14	0.4590	129.0691	0.5730	31.4390	-1.4778	-1.6083e-15	0.4643	196.2690	0.6405	21.1596
15	0.4792	132.5771	0.6111	-38.1025	0.5736	-3.9771e-14	0.4799	219.1414	0.6356	19.3309
16	0.5451	128.3459	0.5891	[]	[]	[]	[]	[]	[]	18.5782
17	0.5185	135.6324	0.6235	[]	[]	[]	[]	[]	[]	10.2072
18	0.4702	135.4564	0.6154	[]	[]	[]	[]	[]	[]	20.1668
19	0.4857	128.3142	0.5673	[]	[]	[]	[]	[]	[]	21.8650
20	0.4611	124.4134	0.5956	[]	[]	[]	[]	[]	[]	18.7646
21	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
22	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
23	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
24	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
25	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
26	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

Ilustración 55, Segunda parte de la matriz de resultados

Los campos de Amplitud y Fase son los obtenidos con la función *plomb* para cada una de las bandas; los satélites con valores [] no han sido procesados, ya sea porque no se encuentran entre el rango de valores de azimut y elevación determinados en el script *SNRPRN.m* o por que la función *plomb* no es capaz de realizar el ajuste y resolver los valores de amplitud y fase.

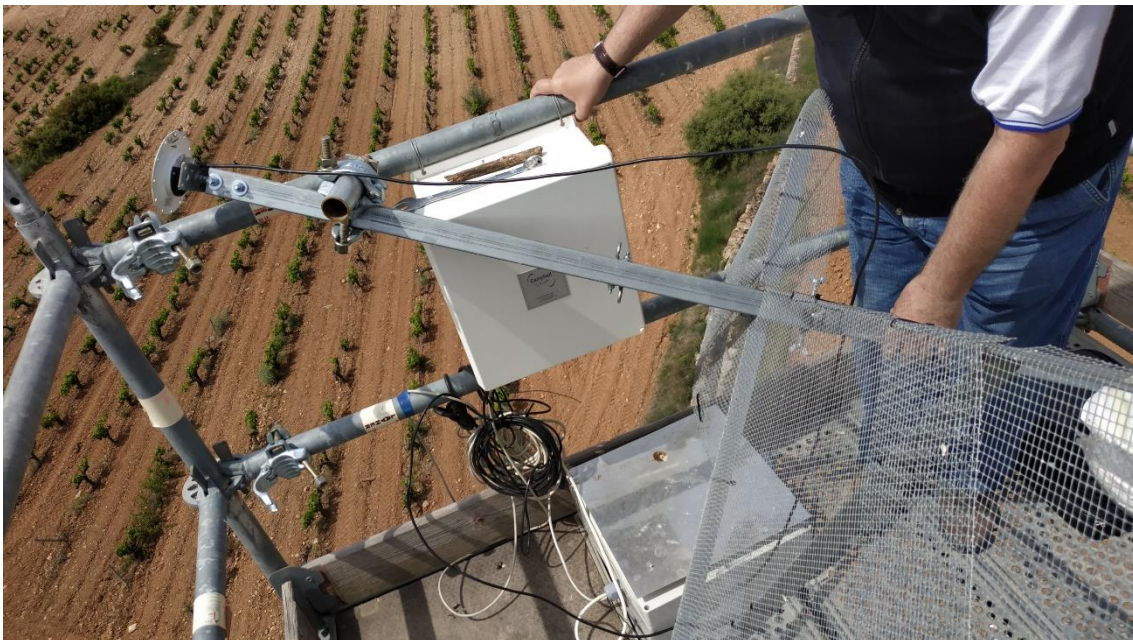
También se encuentra la media y la media normalizada (entre 0 y 1) de los valores de SNR de la señal directa y la señal reflejada, así como la desviación de los valores de la señal multipath.

#### ***10.1.4 Toma de datos en la playa la Patacona.***

Se han realizado dos campañas de toma de datos a la playa de la Patacona para comprobar si hay una relación directa visible entre los valores de SNRt y SNRm con el porcentaje de humedad en la arena.

En la primera, utilizando el receptor R10 instalado en ELBARA-II, se realizó una observación de 1 hora a escasos centímetros de la orilla y otra observación, de la misma duración, justo después, a 50 metros de la orilla.

El receptor fue previamente desmontado (ilustración 56) del poste de la torre ELBARA-II para realizar estas tomas de datos.



*Ilustración 56, Fotografía del desmonte del poste donde se encuentran los receptores R10 y CHC para desinstalar el receptor R10*

Para tomar los valores de humedad (ilustración 57), se ha utilizado el mismo modelo de sonda ThetaProbe type ML2X, colocada en un amperímetro para obtener los valores de Voltaje de la arena (ilustración 58) y transformarlos a % de humedad con la siguiente fórmula de calibración:

$$\% \text{ de humedad} = 0.033 * V + 3.5$$

Donde V es el voltaje obtenido por el amperímetro. La humedad se considera constante durante toda la toma de datos.



*Ilustración 57, Colocación de la sonda a la altura del receptor.*



*Ilustración 58, Amperímetro mostrando un voltaje de 234V.*



En la segunda campaña, se colocaron 5 receptores R8 para realizar una toma de datos simultánea durante 3 horas y, usando la misma sonda, obtener valores de humedad durante ese tiempo. Los receptores se encontraban espaciados 30 metros entre sí, desde la orilla hasta 150 metros de ésta. En la ilustración 59 se pueden ver tres de estos receptores.



*Ilustración 59, Receptores R8*

### 10.1.5 Toma de datos en la Universidad politécnica de Valencia.

Durante el transcurso de los últimos meses, se han realizado diferentes campañas de tomas de datos en la universidad politécnica de Valencia y una parcela rústica de los alrededores. En la siguiente tabla se pueden ver todas las campañas de toma de datos, así como su duración y el terreno.

Día	Tiempo	Punto	Terreno	Archivo
15/11/2018	10:00-10:38	PILAR1	Césped	08623190.18o
29/11/2018	9:42-10:32	CESP	Césped	CESP3330.18o
	10:37-11:07	CEME	Cemento	CEME3330.18o
07/02/2019	9:19-10:19	PILAR1	Césped	89750381.19o
	11:04-12:00	VERD	Verduras	89750382.19o
	12:03-12:41	TCS	Tierra Campa seca	89750383.19o
14/02019	9:38-9:51	VERD	Verduras	89750459.19o
	9:56-11:40	TCS	Tierra Campa Seca	89750452.19o
28/02/2019	11:48-13:30	TCS R8	Tierra Campa seca	42510592.19o
	12:42-13:04	TCH R10	Tierra campa humeda	42510593.19o
	11:41-12:31	TCS R10	Tierra campa seca	89750590.19o
05/03/2019	9:36-10:37	Pilar 1 R10	Césped	89750640.19o
12/03/2019	9:00-10:07	TCS R8	Tierra campa seca	14330712.19o
	10:29-12:05	TCH R8	Tierra campa humeda	14330713.19o
	9:00-10:07	TCS R10	Tierra Campa seca	08620710.19o
	10:30-11:59	TCH R10	Tierra campa humeda	08620711.19o

Tabla 4, Campañas de tomas de datos.

En las 4 primeras tomas de datos, el receptor R10 se colocaba de forma horizontal (ilustraciones 60 y 62) sobre el trípode para comprobar si existía una clara diferencia entre los valores de SNR respecto a una posición vertical. En el resto de ocasiones, se han colocado de forma estándar, como en la ilustración 61.



*Ilustración 60, Estacionamiento del receptor R10 en horizontal tras unos días de lluvia en la parcela rústica*



*Ilustración 61, Toma de datos con receptores R8 y R10 en parcela cercana a la UPV*



*Ilustración 62, Receptor R10 colocado en horizontal sobre césped de la UPV*

## 11. Resultados

En el siguiente apartado se mostrarán los resultados relevantes obtenidos de cada campaña de toma de datos, así como las conclusiones que se puedan extraer de éstos.

### 11.1 ELBARA-II

Para comprobar si existe una correlación entre SM y los valores de amplitud y fase, se han procesado 15 días del mes de julio (días 12-27) y 15 días de octubre (días 5-20), donde existe una gran diferencia de vegetación en las viñas, como se puede ver en las ilustraciones 24 y 25.

Se cuenta con valores de SM de dos sondas cada 10 minutos, por lo que se realizará una media para todo un día. En la siguiente tabla se puede ver como se ordenan los datos en la estación meteorológica (ilustración 31).

Date	Output ThetaProbe 17701 (mV)	SM ThetaProbe 17701(%)	Output ThetaProbe17702 (mV)	SM ThetaProbe 17702(%)
11-7-18 23:30	270,2725525	12,42	374,4716187	15,86
11-7-18 23:40	270,1388855	12,41	374,3212891	15,85
11-7-18 23:50	269,989502	12,41	374,1520691	15,85
12-7-18 0:00	269,8181763	12,40	373,95224	15,84
12-7-18 0:10	269,6404114	12,40	373,7548218	15,83
12-7-18 0:20	269,4664612	12,39	373,5620422	15,83
12-7-18 0:30	269,2912292	12,39	373,3711853	15,82
12-7-18 0:40	269,1234436	12,38	373,1750793	15,81
12-7-18 0:50	268,9502563	12,38	372,9955444	15,81
12-7-18 1:00	268,7687988	12,37	372,8123169	15,80
12-7-18 1:10	268,5982666	12,36	372,6225586	15,80
12-7-18 1:20	268,4193115	12,36	372,4509277	15,79
12-7-18 1:30	268,2339172	12,35	372,3001709	15,79
12-7-18 1:40	268,0664368	12,35	372,1574707	15,78
12-7-18 1:50	267,9411316	12,34	372,0189514	15,78
12-7-18 2:00	267,7926025	12,34	371,8721619	15,77
12-7-18 2:10	267,6833191	12,33	371,7412415	15,77
12-7-18 2:20	267,5908203	12,33	371,6250916	15,76
12-7-18 2:30	267,4776306	12,33	371,5159912	15,76
12-7-18 2:40	267,411377	12,32	371,4296875	15,76

Tabla 5, Valores de SM de las sondas 17701 y 17702.

Las matrices de resultados han sido exportadas a Excel para representar los resultados y obtener los coeficientes de relación entre las variables (SM-fase y SM-media normalizada del SNRr).

Se han seleccionado los 3 satélites con mayor tiempo de observación

Las siguientes tablas son los resultados obtenidos para el sistema GPS del receptor R10; los valores en azul se corresponden al mes de octubre, mientras que los anaranjados al mes de julio. El satélite con PRN 16 no cuenta con banda L2, por lo que sus valores son nulos.

Humedad	PRN 1 Fase L1	PRN 16 Fase L1	PRN 3 Fase L1	PRN 1 SNR L1	PRN 16 SNR L1	PRN 3 SNR L1
20,37	1,051568967	0,905422299	7,745844757	0,44541804	0,43678598	0,45849252
19,12	0,585848126	0,8027024	0,859687318	0,51129309	0,46638658	0,53822666
18,3	0,661992579	0,073907467	-0,70637432	0,44651232	0,38219703	0,52305489
17,8	1,121331997	-1,48470291	1,099309187	0,48333726	0,44642188	0,52091361
25,19	-1,26450542	1,168170836	0,073474445	0,47548793	0,48402433	0,48434257
24,61	1,177843321	0,629178981	1,396837469	0,44683324	0,46460696	0,52043158
23,21	0,871199784	1,003010584	1,264795862	0,46985859	0,35466281	0,53887561
22,42	0,710914693	-0,66736776	1,151328188	0,49321641	0,42407603	0,52631811
21,92	-7,23601953	-1,24654424	-19,2286564	0,49097071	0,48801092	0,48263468
21,12	7,705511834	1,365266727	-19,246427	0,49062325	0,49909139	0,49446303
20,5	7,687424368	-0,83867605	0,96593688	0,48187155	0,40898468	0,50451833
19,7	-0,68992387	-0,53480888	0,301479205	0,45475106	0,39500456	0,49983175
19,48	0,54286808	-0,50107737	-0,37475606	0,50108385	0,47102443	0,48934959
22,5	0,382453914	0,147738899	1,383358123	0,48108949	0,40423747	0,50949079
20,87	-0,29806926	1,33220484	-1,1682559	0,47651783	0,44084892	0,45613529
12,25	-0,98849916	1,544776349	0,413840846	0,46114019	0,4368542	0,49828898
11,98	-0,26132536	-7,67130133	0,077650713	0,46093133	0,40303092	0,5262034
11,94	0,584376678	-1,01564555	1,008509126	0,48237362	0,42633158	0,5067478
11,8	0,792863388	0,472160917	0,746406468	0,47373768	0,44651572	0,46817822
12,7	0,490748804	0,083938169	0,452196167	0,87969046	0,46448742	0,6484954
11,6	1,243172832	-0,01150284	0,623866033	0,45342191	0,46629637	0,51782508
11,6	-1,55462823	-0,01379325	1,406385214	0,47268037	0,44443729	0,48078637
11,83	0,35151835	1,307156433	-1,22248262	0,47163482	0,43418944	0,50840428
12,5	-0,92024792	0,754325132	-1,54417545	0,46605723	0,46553123	0,5211249
11,56	-7,72308408	0,154039241	0,898589731	0,4266421	0,41657146	0,48034149
11,84	-0,17303769	0,886067035	-1,33741237	0,45057849	0,47178594	0,5123298
11,44	-0,76950576	-1,33818804	-1,38102839	0,40957581	0,42936367	0,47872663
11,6	-0,70342893	7,672665472	-1,11507098	0,43373471	0,47033403	0,4582004
11,3	1,080548063	-0,75280128	-1,36567027	0,45733769	0,3773662	0,50362067

PRN 1 Fase L2	PRN 16 Fase L2	PRN 3 Fase L2	PRN 1 SNR L2	PRN 6 SNR L2	PRN 3 SNR L2
-0,830848753	□	0,752056952	0,501999202	□	0,596089828
-1,001929494	□	0,083493304	0,488659778	□	0,588618777
-0,723334265	□	0,130046453	0,506135642	□	0,570267923
-0,581586535	□	0,138944639	0,503432919	□	0,596366275
1,160476057	□	0,004942244	0,509412352	□	0,575802127
-0,818589137	□	-0,423131032	0,517211711	□	0,587361942
-0,634246053	□	-0,156664456	0,496612493	□	0,581673987
-0,635496722	□	-0,385135733	0,540380993	□	0,595429881
-0,518296073	□	0,080005139	0,505488426	□	0,587165147
0,736802414	□	-0,18000174	0,503367443	□	0,610181391
-0,716385751	□	-0,442330937	0,479262349	□	0,588628641
-0,563908551	□	-0,855674439	0,493119617	□	0,58544735
-0,695072666	□	-0,545030089	0,472381146	□	0,563968583
-1,107244271	□	-0,699076896	0,467025345	□	0,562498673
1,183887986	□	-0,998572058	0,450518257	□	0,537324727
1,313511778	□	-0,052012215	0,546401466	□	0,510998411
1,085468033	□	-0,047747884	0,55900255	□	0,5303533
0,802743285	□	0,455903218	0,590818712	□	0,570071625
0,931033254	□	0,097951772	0,540553651	□	0,550700737
1,131011161	□	0,340751803	0,523853254	□	0,552864944
0,385410899	□	0,212095747	0,537193136	□	0,537062274
1,024319944	□	0,475775983	0,55016211	□	0,548341743
1,335082062	□	0,547254404	0,579833727	□	0,564592283
1,077923797	□	0,458561743	0,610167409	□	0,531159079
0,672753961	□	0,875318111	0,628469851	□	0,557051623
0,433417985	□	0,34647984	0,648915591	□	0,588944479
0,700275322	□	0,153233854	0,592056315	□	0,588142671
0,739633442	□	0,136501775	0,625377926	□	0,566843067
0,388258998	□	0,281037067	0,602327658	□	0,567842214

Para estos resultados, se ha calculado el coeficiente de relación directo entre los valores de SM y fase y SNRr normalizado. La expresión que permite calcular el coeficiente de correlación de Pearson es, para dos variables aleatorias X e Y:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$  es la covarianza entre X,Y.

$\sigma_X$  es la desviación estándar de la variable X.

$\sigma_Y$  es la desviación estándar de la variable Y.

La interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación depende del contexto de aplicación, aunque en términos generales se puede considerar que



existe una baja correlación cuando el valor es menor a 0.30. Un valor entre 0.30 y 0.70 indica una correlación moderada, y valores superiores a 0.70 una alta correlación entre ambas variables.

En diferentes estudios sobre la aplicación de técnicas GNSS-R a la correlación entre valores de SM y SNR, únicamente se presentan como resultados aquellos satélites que cuentan con una buena correlación [29, 30, 31].

Los coeficientes de correlación obtenidos, son los siguientes:

COEF DE CORR	PRN 1 Fase L1	PRN 16 Fase L1	PRN 3 Fase L1	PRN 1 SNR L1	PRN 16 SNR L1	PRN 3 SNR L1
	-0,15168	0,393593	-0,0574	-0,12713	0,13907	-0,04152
COEF DE CORR	PRN 1 Fase L1	PRN 16 Fase L1	PRN 3 Fase L1	PRN 1 SNR L1	PRN 16 SNR L1	PRN 3 SNR L1
	0,142103	-0,05971	0,085233	0,665834	0,41377	0,708938
COEF DE CORR	PRN 1 Fase L1	PRN 16 Fase L1	PRN 3 Fase L1	PRN 1 SNR L1	PRN 16 SNR L1	PRN 3 SNR L1
	0,20539	0,033079	-0,14885	-0,02625	0,024565	-0,03564

COEF DE CORR	PRN 1 Fase L2	PRN 16 Fase L2	PRN 3 Fase L2	PRN 1 SNR L2	PRN 6 SNR L2	PRN 3 SNR L2
	0.287408	-	-0.1475	0.264918	-	-0.03544
COEF DE CORR	PRN 1 Fase L2	PRN 16 Fase L2	PRN 3 Fase L2	PRN 1 SNR L2	PRN 6 SNR L2	PRN 3 SNR L2
	0.632356	-	-0.08225	-0.32811	-	-0.47911
COEF DE CORR	PRN 1 Fase L2	PRN 16 Fase L2	PRN 3 Fase L2	PRN 1 SNR L2	PRN 6 SNR L2	PRN 3 SNR L2
	-0.63767	-	-0.60478	-0.75975	-	0.524046

Los valores azules corresponden a la correlación en los días de octubre, los naranjas en julio y, en verde, ambas muestras conjuntas.

Para los satélites de PRN 1 y 3 en el conjunto de datos de ambos meses de la banda L2, se puede ver una alta correlación, tanto para los valores de fase, como los de la media normalizada del SNR.

### 11.2 Playa de la Patacona. Campaña 1

Los valores de humedad obtenidos para cada estacionamiento son los siguientes:

Estación	Humedad
1	74.21
2	24.52

Como es lógico, hay una gran diferencia entre los valores de humedad a ras de la costa y a 50 metros de ésta.

La matriz de resultados para el sistema GPS, es la siguiente:

Humedad	Estación	PRN	Amplitud L1	Fase L1	Amplitud L2	Fase L2
24	1	21	-21,2064884	-0,32039858	0,59511053	1,01509834
74	2	21	-12,2525878	0,0315024	-1,5106666	-0,55639544
24	1	26	46,7645783	-0,56043141	-45,4808756	-1,21929273
74	2	26	-12,6225989	-1,27050242	-23,4720877	-0,20188025

El cálculo del coeficiente de correlación para un número de muestras tan escaso no tendría sentido, pero se ve una diferencia clara para ambos satélites con un aumento de humedad tan drástico.

### 11.3 Playa de la Patacona. Campaña 2

Los valores de humedad obtenidos para cada receptor, ordenados de menor a mayor distancia a la costa, con los siguientes:

Receptor	SM
R8-1	60.68
R8-2	53
R8-3	49.7
R8-4	16.7
R8-5	13.4

Razonablemente, los valores de SM disminuyen drásticamente al aumentar la distancia con la costa.

La matriz de resultados, para la banda E1 de galileo, es la siguiente:

SM	Receptor	PRN	Amplitud	Fase
49.7	3	26	-18.427285	-0.9516407
16.7	4	26	-25.83192	0.654155
13.4	5	26	0.0005079	0.9515487
49.7	3	21	-4.9412685	-0.7965711
16.7	4	21	8.2510112	-0.9671549
13.4	5	21	-5.5914104	-0.4632274
49.7	3	13	11.46749	-0.3438309
16.7	4	13	-16.7652	0.1839218
13.4	5	13	-19.899973	0.6356308

Los receptores 1 y 2 no pueden tomar datos de galileo, por lo que no han podido ser procesados.

Los coeficientes de correlación obtenidos son los siguientes:

COEF DE CORR	PRN 26 Fase	PRN 21 Fase	PRN 13 Fase	PRN 1 Fase
	-0,99798699	-0,38912119	-0,92241369	-0,94744627
COEF DE CORR	PRN 26 Amplitud	PRN 21 Amplitud	PRN 13 Amplitud	PRN 1 Amplitud
	-0,31821645	-0,38912119	0,99996339	-0,41778587

Para los satélites con PRN 26, 13 y 1, es muy visible una correlación entre los valores de fase y SM.

La matriz de resultados para el sistema GPS, es la siguiente:

Humedad	R8	PRN	Amplitud L1	Fase L1	Amplitud L2	Fase L2
60,689	1	21	-13,2003188	0,45398686	1,0601402	1,42056018
53	2	21	-20,7847889	0,32371929	-3,06990502	-0,4252036
49,7	3	21	-16,8210953	0,46793137	-2,3220731	0,40761288
16,7	4	21	-16,9217796	1,07739078	-2,04492245	-0,10825901
13,4	5	21	-19,8737067	1,37316304	-2,90685805	0,64424256
60,689	1	26	-19,2611453	-0,37651347	-12,814099	-1,48234513
53	2	26	21,2305306	0,84260638	18,5686972	1,31243758
49,7	3	26	-16,7770153	-0,18951461	-18,6897362	0,13466206
16,7	4	26	-20,2532501	0,56830358	-20,8447631	1,33271583
13,4	5	26	-19,96906	-1,15844078	-24,811532	0,58413099
60,689	1	31	16,0159895	-0,51612396	-6,03452674	-0,8740261
53	2	31	-6,84997956	0,44800561	8,97286349	-0,65902598
49,7	3	31	-23,1398412	0,07828938	17,2776971	-1,31469049
16,7	4	31	-24,1296583	1,29228178	-14,381206	0,77746861
13,4	5	31	-20,9218511	0,8210694	-14,0912227	0,99259865

Los coeficientes de correlación obtenidos, son los siguientes:

COEF DE CORR	PRN 21 Amplitud L1	PRN 21 Fase L1	PRN 26 Amplitud L1	PRN 26 Fase L1	PRN 31 Amplitud L1	PRN 31 Fase L1
	0,38967591	-0,95761014	0,4066077	0,26424791	0,70705769	-0,87558067
COEF DE CORR	PRN 21 Amplitud L2	PRN 21 Fase L2	PRN 26 Amplitud L2	PRN 26 Fase L2	PRN 31 Amplitud L2	PRN 31 Fase L2
	0,48897858	0,25044711	0,83269766	0,56242496	0,88730514	-0,93759641

Para la señal L2 de la constelación GPS, se obtienen mejores resultados exceptuando la fase del satélite con PRN 21.

### 11.3 Pruebas en la UPV

Para las pruebas realizadas en la UPV, se ha ampliado el rango de elevación de los satélites a 5° - 60°, ya que, al tratarse de observaciones de corto tiempo, el número de satélites y datos es limitado y, en muchos casos, no es posible encontrar satélites comunes en dos receptores o estacionamientos para ver la diferencia entre dos estados.

Restringir los datos a satélites que se encuentren en valores de elevación bajos es crucial. En un rango de elevación de 5° a 30°, el ajuste polinómico de orden bajo es capaz de aislar correctamente la señal reflejada, como se puede ver en la ilustración 63. Sin embargo, si se aumenta a 45°, el ajuste no es tan preciso y la señal acaba distorsionada, como se puede observar en la ilustración 64. Si se establece un rango de elevación más elevado, de 20° a 60°, el ajuste es pésimo y la señal se distorsiona por completo [29, 30].

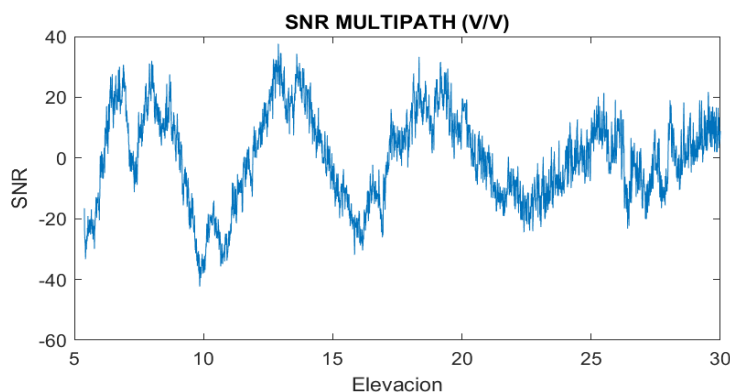


Ilustración 63, SNRr con elevación de 5° a 30°

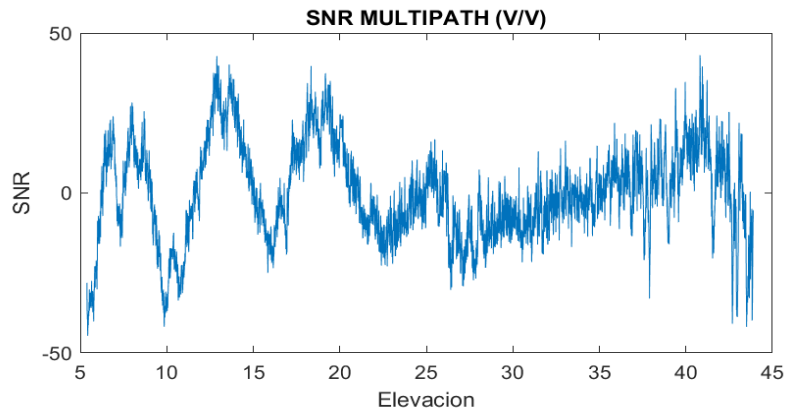


Ilustración 64, SNRr con elevación de 5° a 45°

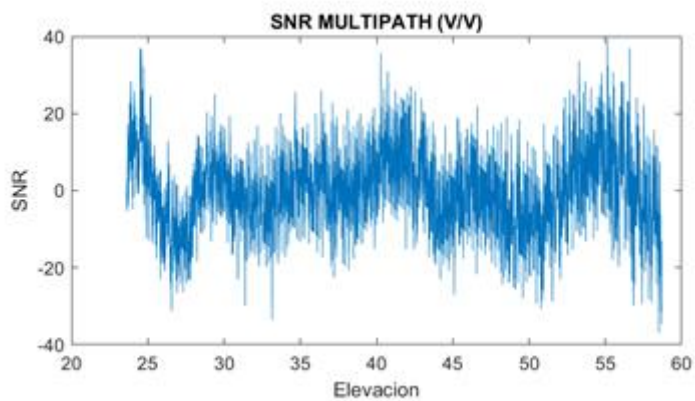


Ilustración 65, SNRr con elevación de 20° a 60°

Esto conlleva que, en el ajuste espectral mínimo cuadrático, no se pueda estimar la frecuencia dominante y sea imposible determinar los valores de Amplitud y Fase.

## **12. Conclusiones**

Como ya se ha demostrado en otros estudios, la humedad del medio y el SNR de la señal reflejada por la superficie están relacionados.

Esta relación no se rige por una ecuación determinada, ya que cuantificar los factores que afectan a la obtención del SNR no es sencillo y, en muchas ocasiones, no es posible.

La penetración de la señal en el medio depende del ángulo de elevación, de su frecuencia de emisión, del tipo de medio, de su geometría y de su constante dieléctrica. Además, el patrón de ganancia de la antena, en muchas ocasiones, por cuestión de patentes, no es conocida a menos que sea modelado empíricamente en una cámara anecoica.

La aportación de este trabajo de final de grado en esta disciplina es, por un lado, el desarrollo de las aplicaciones necesarias para obtener los valores de SNR a partir de ficheros RINEX 2.11, así como la implementación del uso las señales E1, E2 y E5 de la constelación de satélites Galileo, ya que, desde su compleción, no se ha explotado el potencial de este sistema en el ámbito de GNSS-R y, como se ha expuesto, los resultados obtenidos relacionando SM y SNR con este sistema son prometedores.

### 13. Bibliografía

- [1] 2017 GNSS Market Report. (2017). Disponible en: <https://www.gsa.europa.eu/2017-gnss-market-report>
- [2] Solutions, K., & Signals, G. (2019). GNSS Frequencies and Signals. Disponible en: <https://www.novatel.com/support/known-solutions/gps-signals-and-related-frequencies/>
- [3] Spirent Blogs - What is PRN code? (2019). Disponible en: [https://www.spirent.com/blogs/positioning/2011/october/2011-10-17\\_what\\_is\\_prn\\_code](https://www.spirent.com/blogs/positioning/2011/october/2011-10-17_what_is_prn_code)
- [4] Category:GPS - Navipedia. (2019). Disponible en: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Category:GPS>
- [5] GPS Architecture - Navipedia. (2019). Disponible en: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS\\_Architecture](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Architecture)
- [6] Basic GPS. (2019). Disponible en: [https://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/ModernSurveyingTech/lectureB\\_6/B\\_6\\_3structure.htm](https://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/ModernSurveyingTech/lectureB_6/B_6_3structure.htm)
- [7] What is Antenna Polarization, and Why Does it Matter? - Pasternack Blog. (2019). Disponible en: <https://blog.pasternack.com/antennas/antenna-polarization-matter/>
- [8] Darrocos. (2011). The Reflected Global Navigation Satellite System (GNSS-R): from Theory to Practice.
- [9] Navipedia. (2019). Disponible en: <https://gssc.esa.int/navipedia>
- [10] GLONASS General Introduction - Navipedia. (2019). Disponible en: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS\\_General\\_Introduction#cite\\_note-GLONASSConstellationStatus-5](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction#cite_note-GLONASSConstellationStatus-5)
- [11] BERNÉ VALERO, J.L. [et al] (2014) GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática
- [12] Hatanaka, Yuki (2008) A Compression Format and Tools for GNSS Observation Data.
- [13] Hatanaka Format Information at UNAVCO. Disponible en: <https://www.unavco.org/data/gps-gnss/hatanaka/hatanaka.html>
- [14] RINEX - Receiver Independent Exchange Format - GIS Resources. (2019). Disponible en: <http://www.gisresources.com/rinex-receiver-independent-exchange-format/>
- [15] Introducing SMOS. (2019). Disponible en: [https://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/SMOS/Introducing\\_SMOS](https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/SMOS/Introducing_SMOS)
- [16] Mapping salty waters. (2019). Disponible en: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate/Mapping\\_salty\\_waters](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Mapping_salty_waters)
- [17] MIRAS - A Two-Dimensional Aperture-Synthesis Radiometer for Soil-Moisture and Ocean-Salinity Observations. (2019). Disponible en: <http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet92/b92marti.htm>
- [18] Rodríguez Álvarez, N. "Contributions to earth observation using gnss-r opportunity signals". Tesis doctoral, UPC, Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, 2011. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/94511>
- [19] País, E. (2019). La Agencia Europea del Espacio acoge a Star2Earth en su incubadora de empresas. Disponible en: [https://elpais.com/diario/2006/04/20/ciberpais/1145500530\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2006/04/20/ciberpais/1145500530_850215.html)

- [20] Giulio Ruffini, Marco Caparrini, Bertrand Chapron, François Soulat, Olivier Germain, Leonardo Ruffini, Oceanpal: an instrument for remote sensing of the ocean and other water surfaces using GNSS reflections, Editor(s): H. Dahlin, N.C. Flemming, K. Nittis, S.E. Petersson, Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Volume 69, 2003.
- [21] V. Zavorotny, K. Larson, J. Braun, E. Small, E. Gutmann, and A. Billich, "A physical model for GPS multipath caused by land reflections: Toward bare soil moisture retrievals," IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 3, no. 1, pp. 100–110, Mar. 2010.
- [22] Sibó Zhang<sup>1,2</sup>, Nicolas Roussel<sup>3</sup>, Karen Boniface<sup>2,3,4,a</sup>, Minh Cuong Ha<sup>3</sup>, Frédéric Frappart<sup>3,5</sup>, José Darrozes<sup>3</sup>, Frédéric Baup<sup>4</sup>, and Jean-Christophe Calvet<sup>1</sup> Use of reflected GNSS SNR data to retrieve either soil moisture or vegetation height from a wheat crop
- [23] Small, E. E., Larson, K. M., and Braun, J. J.: Sensing vegetation growth with reflected GPS signals, Geophys. Res. Lett., 37, L12401, <https://doi.org/10.1029/2010GL042951>, 2010.
- [24] Bilich, A. and Larson, K. M.: Mapping the GPS multipath environment using the signal-to-noise ratio (SNR), Radio Sci., 42, RS6003, <https://doi.org/10.1029/2007RS003652>, 2007.
- [25] K. Larson, E. Small, E. Gutmann, A. Bilich, J. Braun, and V. Zavorotny, "Use of GPS receivers as a soil moisture network for water cycle studies," Geophys. Res. Lett., vol. 35, no. 24, p. L24405, 2008.
- [26] Nicolas Roussel, Frédéric Frappart, Guillaume Ramillien, José Darrozes, Frédéric Baup, Laurent Lestarquit, and Minh Cuong Ha Detection of Soil Moisture Variations Using GPS and GLONASS SNR Data for Elevation Angles Ranging From 2° to 70° (2013)
- [27] J. Behari, "Microwave dielectric behavior of wet soils," in Remote Sensing and Digital Image Processing. New York, NY, USA: Springer, 2006, ISBN 1-4020-3271-4.
- [28] Cong Yin, Ernesto Lopez-Baeza, Manuel Martin-Neira, Roberto Fernandez-Moran, Lei Yang, Enrique A. Navarro-Camba, Alejandro Egido, Antonio Mollfulleda, Weiqiang Li, Yunchang Cao, Bin Zhu and Dongkai Yang. Intercomparison of Soil Moisture Disponible en: GNSS-R and from Passive L-Band Radiometry at the Valencia Anchor Station (2016).
- [29] Mutian Han, Yunlong Zhu, Dongkai Yang, Xuebao Hong y Shuhui Song. A Semi-Empirical SNR Model for Soil Moisture Retrieval Using GNSS SNR Data. (2017).
- [30] Clara C. Chew, Eric E. Small, Kristine M. Larson, and Valery U. Zavorotny, Fellow, IEEE Effects of Near-Surface Soil Moisture on GPS SNR Data: Development of a Retrieval Algorithm for Soil Moisture
- [31] Clara Chew, Eric E. Small, Kristine M. Larson. An algorithm for soil moisture estimation using GPS-interferometric reflectometry for bare and vegetated soil. (2015).



## ANEXO 1. ThetaProbe type ML2x

### ThetaProbe type ML2x

- $\pm 1\%$  accuracy
- Easy data logger connection (DC in DC out)
- Excellent temperature and salinity stability
- Dual purpose: either hand-held for spot readings or left in-situ for data logging

The ThetaProbe type ML2x measures volumetric soil moisture content to within 1%. The ML2x has decisive advantages over other technologies, offering precision and reliability at an affordable price

#### Simple to use

With the ThetaProbe type ML2x it's easy to make reliable, accurate soil moisture measurements. Simply insert the probe into the soil, connect to your data logger or meter, provide 5-15V DC at 20mA, and within seconds you can be measuring soil moisture.

#### Calibration

After a single two-point gravimetric calibration, ThetaProbes will meet their full 1% accuracy specification for your specific soil (or other medium).

For convenience, many users simply apply one of the two standard calibrations supplied by Delta-T. With these 'generalised' mineral or organic calibrations, 5% accuracy can be achieved.

The ML2x has a predictable saline response (which declines as salinity increases); it can be used even in very saline soils - up to 2000 mS.m<sup>-1</sup>.

Please see the table on page 12 for further information on accuracy and calibration.

#### Applications

Typical application areas include irrigation, hydrology, civil engineering, soil water profiling, pollution monitoring, remote sensing validation and forestry.

Wherever a vertical soil moisture profile is required, Profile Probes should be considered (see pages 6 and 7), however, it should be noted that ThetaProbe accuracy



is  $\pm 1\%$ , compared to the Profile Probe's  $\pm 3\%$ .

**Horticulture and agriculture** ThetaProbes can be used in a wide range of soils, composting and other growing media. Because they are so compact, ThetaProbes can be inserted into plant pots, or may be positioned horizontally in a seed tray (they require a minimum 50mm depth of compost).

**Composting** The ML2x can be placed in composting material where it can tolerate temperatures up to +70°C. The accuracy between 40 and 70°C is  $\pm 2\%$ , but media density and contaminant levels may affect the accuracy attainable (and the lifespan of the probe).

**Irrigation** Accuracy, ease of use and speed of response make the ThetaProbe well suited to irrigation applications. Readings can be used to optimise irrigation scheduling, or ThetaProbes can be installed as part of an automatic irrigation system.

**Environmental monitoring** Long term studies of global climate and local environments require the monitoring of land

atmosphere interactions. Soil water is increasingly seen as one of the critical components - and one that has become easier to study since the introduction of the ThetaProbe.

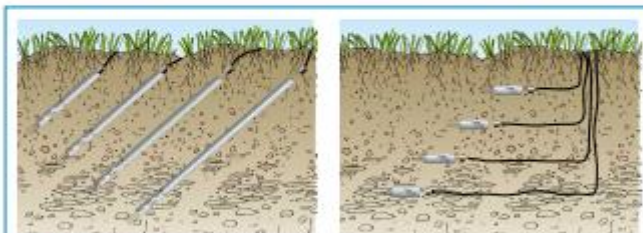
Most automatic weather stations (including all Delta-T systems) can be expanded to include one or more ThetaProbes - as easily as adding, say, another temperature sensor.

#### Data logging and readout

Most types of data logger can provide the 5 - 15V DC required to power the ThetaProbe, and will accept its 0 - 1V DC output signal. Up to 60 ThetaProbes can be controlled and logged using the **Delta-T Data Logger**.

For logging just one or two ThetaProbes, the **ThetaLog** is available; it is a compact, fully sealed, logger (see page 9).

The **Moisture Meter type HH2** connects to a ThetaProbe to provide a portable system for instantaneous readout of soil moisture (see pages 8 and 9).

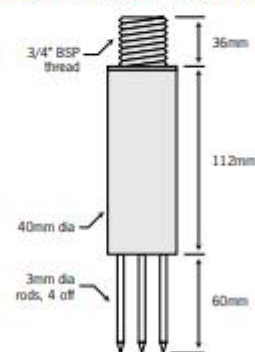










#### Installation

ThetaProbes are robust, buriable and maintenance free. They can be placed in the soil by inserting them into augered holes or alternatively by positioning them in the wall of a trench (which is then carefully back-filled).

Optional Extension Tubes assist convenient placement and removal when burying at depth. Access holes should be angled to minimise water 'tracking'.

#### ThetaProbe Dimensions



Outstanding performance for demanding applications		
What do you gain when you choose the ThetaProbe?		
Feature	Description	Advantage
 <b>DC in, DC out</b>	Requires 5 - 15V DC at 20mA. Provides 0 - 1V DC output. Compatible with HH2 Moisture Meter and most data loggers.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dual purpose:</b> - for burial and data logging - for hand-held use</li> <li>• <b>Long cable runs possible</b></li> <li>• <b>Easy to include in large-scale logging set ups</b></li> </ul>
 <b>100MHz signal</b>	With frequencies below ~30MHz, salinity effects can be a problem. With frequencies above ~250MHz, measuring bound-water in clay soils is a problem. 100MHz is an excellent compromise.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Performs well in most soil types, including clays</b></li> <li>• <b>Usable in saline soils - up to 2000 mS.m<sup>-1</sup></b></li> </ul>
 <b>Standing wave measurement</b>	Simple, elegant circuit responds precisely to the dielectric properties of soil.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>±1% accuracy</b></li> <li>• <b>Precision measurements at moderate cost</b></li> </ul>
 <b>4-Rod arrangement</b>	3 rods are arranged in a circle around a central rod. This creates a defined cylindrical zone of measurement, 60mm long x 26.5mm diameter (300mm <sup>3</sup> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Holds soil closer to central rod when drying and cracking (2 and 3 rod arrangements don't do this)</b></li> <li>• <b>Measurements can be made close to the soil surface</b></li> </ul>
 <b>Replacement rods</b>	Made of 3mm diameter, resilient, 304 austenitic stainless steel, with sharpened tips. Rods have threaded ends that screw into ThetaProbe body.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Withstand repeated insertion in soil. Can be replaced at low cost if bent or damaged</b></li> <li>• <b>Highly resistant to corrosion</b></li> <li>• <b>Narrow rods with sharp tips minimise errors due to soil compaction as rods are inserted</b></li> </ul>
 <b>Cylindrical shape</b>	The ThetaProbe casing is a 40mm diameter tube, with threaded end. Extension tubes (500 and 1000 mm) screw onto this thread.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Easy to insert and remove in augered holes</b></li> <li>• <b>Rapid attachment of extension tubes</b></li> </ul>
 <b>Compact size</b>	Case is robust and sealed to IP68 standard. Overall length of probe is 207mm.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Handy size for portable use</b></li> <li>• <b>Rugged, waterproof and buriable to 5m</b></li> </ul>
 <b>Delta-T support</b>	Thousands of ThetaProbes are in use all over the world. The latest ML2x includes improvements suggested by customer feedback.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>World-wide availability</b></li> <li>• <b>Reassurance of quality</b></li> <li>• <b>Advice on complete systems</b></li> </ul>

For technical specifications - see table on page 12

### Comparison with other techniques

**TDR** ThetaProbes have some clear advantages over TDR systems. In general terms ThetaProbes are more stable, less troubled by salinity, easier to log, use less power, have simpler cabling requirements and can be used to make spot readings on the move (as well as buried for long term logging).

**Neutron Probes** have many drawbacks when compared with ThetaProbes: they create licencing and safety problems, they cannot measure the top 25cm of soil, they cannot be data logged and the overall cost of ownership is high. (Profile Probes are in many respects an even better alternative to neutron probes - see pages 6 & 7).

### Further information

Latest developments are announced on our web site, [www.delta-t.co.uk](http://www.delta-t.co.uk).

The ThetaProbe has been jointly developed with the Macaulay Land Use Research Institute (MLURI), as originally described in *ThetaProbe ML2: Principles of Operation and Applications* J.D. Miller & G.J. Gaskin.

The working principle of the ThetaProbe is explained on page 7.

**Patents** UK patent 2300485B, US patent 5804976. Patent applied for: EUR 96303190.1

### Ordering information

ThetaProbes are available with 3 alternative cable terminations, as follows:

<b>ML2x/w</b>	ThetaProbe (bare wires) (5m cable). Cable terminates with bare wires suitable for direct connection to terminal blocks
<b>ML2x/d</b>	ThetaProbe (D socket) (5m cable). Fitted with 25-way D socket, suitable for use with HH2 Moisture Meter
<b>ML2x/t</b>	ThetaProbe (IP68 plug) (5m cable). Fitted with latching IP68 connecting plug. Suitable for connecting to ThetaLog and to HH2 Moisture Meters fitted with C-HH2-T connector
<b>TK2-BASIC</b>	ThetaKit v2 - Portable soil moisture measuring kit. Includes ThetaProbe ML2x/d-02 (2m cable), pack of 4 x spare stainless steel rods, Moisture Meter HH2, Insertion Kit ML-INK1, users manuals and carrying case.
<b>Extension Tubes</b> The ML2x/t should be used whenever it is intended to use Extension Tubes with an HH2 Moisture Meter (the ML2x/d is NOT suitable for use with Extension Tubes).	
<b>ML/EX50</b>	50cm Extension Tube for ThetaProbe, type ML/EX50
<b>ML/EX100</b>	100cm Extension Tube for ThetaProbe, type ML/EX100
<b>Spare Rods</b>	Pack of spare stainless steel rods for ThetaProbe, type ML-RÖDS. 12 rods per set
<b>Additional cable</b>	
<b>ML-CAB</b>	Additional cable fitted to ThetaProbe. Available in multiples of 5m only. Max. recommended length 100m.

## ANEXO 2. HOBO® 4-Channel Thermocouple Data Logger (UX120-014M) Manual

### HOBO® 4-Channel Thermocouple Data Logger (UX120-014M) Manual



The HOBO 4-Channel Thermocouple data logger records temperature in indoor environments using up to four J, K, T, E, R, S, B, or N type thermocouple sensors (sold separately). The logger also has an internal 10K thermistor for cold-junction compensation of the thermocouple output. The four thermocouple channels have a 20-bit resolution while the internal 10K thermistor has a 12-bit resolution. Using HOBOWare®, you can easily configure the logger alarm to trip for specific high or low temperatures. Or, you can set up burst logging in which the logger records data at a different interval during certain conditions. The logger can also calculate minimum, maximum, average, and standard deviation statistics. This easy-to-use data logger has a built-in LCD screen to monitor temperature, logging status, battery use, and memory consumption in between readouts. An optional protective case (CASE-4X-2) is also available for this logger.

#### Specifications

##### Thermocouple

Type	Range	Accuracy	Resolution
J	-210° to 760°C (-346° to 1,400°F)	±0.6°C (±1.08°F) ± thermocouple probe accuracy	0.03°C (0.06°F)
K	-260° to 1,370°C (-436° to 2,498°F)	±0.7°C (±1.26°F) ± thermocouple probe accuracy	0.04°C (0.07°F)
T	-260° to 400°C (-436° to 752°F)	±0.6°C (±1.08°F) ± thermocouple probe accuracy	0.02°C (0.03°F)
E	-260° to 950°C (-436° to 1,742°F)	±0.6°C (±1.08°F) ± thermocouple probe accuracy	0.03°C at (0.05°F)
R	-50° to 1,550°C (-58° to 2,822°F)	±2.2°C (±3.96°F) ± thermocouple probe accuracy	0.08°C (0.15°F)
S	-50° to 1,720°C (-58° to 3,128°F)	±2.2°C (±3.96°F) ± thermocouple probe accuracy	0.08°C (0.15°F)
B	550° to 1,820°C (1,022° to 3,308°F)	±2.5°C (±4.5°F) ± thermocouple probe accuracy	0.1°C (0.18°F)
N	-260° to 1,300°C (-436° to 2,372°F)	±1.0°C (±1.8°F) ± thermocouple probe accuracy	0.06°C (0.11°F)

##### Internal 10K Thermistor (Temperature)

Range	-20° to 70°C (-4° to 158°F)
Accuracy	±0.21°C from 0° to 50°C (±0.38°F from 32° to 122°F); see Plot A
Resolution	0.024°C at 25°C (0.04°F at 77°F); see Plot A
Drift	<0.1°C (0.18°F) per year

##### Logger

Logger Operating Range	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F); 0 to 95% RH (non-condensing); Launch/Readout: 0° to 50°C (32° to 122°F) per USB specification
Logging Rate	1 second to 18 hours, 12 minutes, 15 seconds
Logging Modes	Fixed interval (normal), burst, or statistics
Memory Modes	Wrap when full or stop when full
Start Modes	Immediate, push button, date & time, or next interval
Stop Modes	When memory full, push button, or date & time
Restart Mode	Push button
Time Accuracy	±1 minute per month at 25°C (77°F); see Plot B
Power Source	Two AAA 1.5 V alkaline batteries, user replaceable, and USB cable
Battery Life	1 year, typical with logging rate of 1 minute and sampling interval of 15 seconds or greater
Memory	4 MB (1.6 million measurements, maximum)

#### HOBO 4-Channel Thermocouple Data Logger

##### UX120-014M

##### Included Items:

- Command™ strip
- Double-sided tape
- Hook & loop strap
- Two AAA 1.5 V alkaline batteries

##### Required Items:

- HOBOWare 3.5 or later
- USB cable (included with software)
- Thermocouple sensor type J, K, T, E, R, S, B, or N

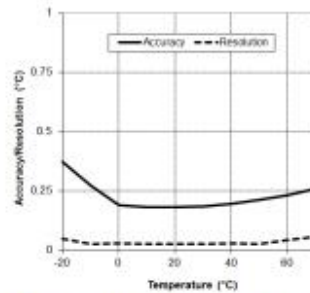
##### Accessory:

- Protective case (CASE-4X-2)

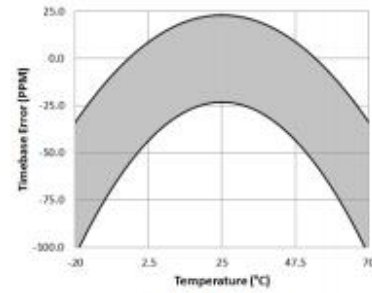
## Specifications (continued)

### Logger (continued)

<b>Download Type</b>	USB 2.0 interface
<b>Full Memory Download Time</b>	Approximately 1.5 minutes
<b>LCD</b>	LCD is visible from 0° to 50°C (32° to 122°F); the LCD may react slowly or go blank in temperatures outside this range
<b>Size</b>	10.8 x 5.41 x 2.54 cm (4.25 x 2.13 x 1 in.)
<b>Weight</b>	107.5 g (3.79 oz)
<b>Environmental Rating</b>	IP50
<b>CE</b>	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

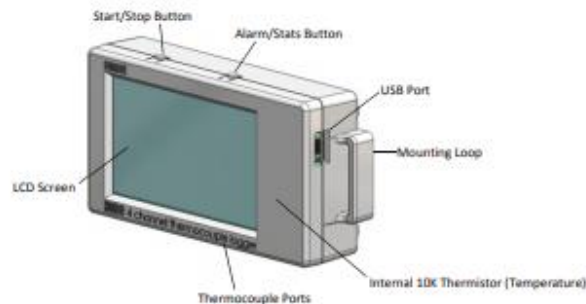


Plot A: Internal Temperature Accuracy & Resolution



Plot B: Time Accuracy

## Logger Components and Operation



**Start/Stop Button:** Press this button for 3 seconds to start or stop logging data, or to resume logging on the next even logging interval. This requires configuring the logger in HOBOWare with a push button start or stop, and with "Resume logging on next button push" selected (see *Setting up the Logger*). You can also press this button for 1 second to record an internal event (see *Recording Internal Logger Events*) or to turn the LCD screen on if the option to turn off the LCD has been enabled (see *Setting up the Logger*).

**Alarm/Stats Button:** Use this button to clear a tripped alarm (see *Setting up Alarms*) or to switch between statistics, alarm

readings, the current sensor reading, and the internal temperature reading (if enabled in HOBOWare).

**Mounting Loops:** Use the two mounting loops (only one visible in the diagram) to mount the logger with the hook-and-loop strap (see *Mounting the Logger*).

**Internal 10K Thermistor (Temperature):** The internal 10K thermistor (not visible in the diagram) measures ambient temperature, if the channel is configured to log in HOBOWare (see *Setting up the Logger*).

## ANEXO 3. CHC N72 HARDWARE DESCRIPTION

CHCNAV

**N72**

GNSS Infrastructure

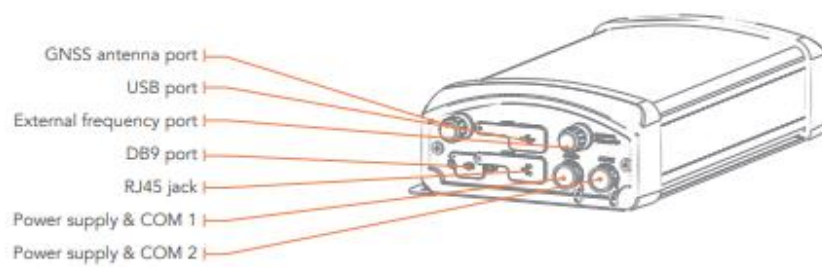
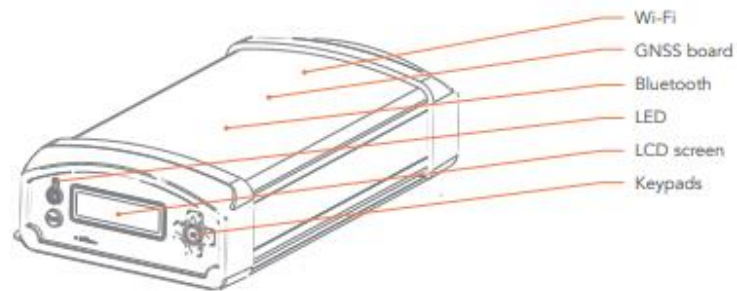


Make your work more efficient

## Hardware Description

### N72 High-end Reference Receiver

Smart and stable. The multifunctional N72 GNSS reference receiver guarantees outstanding performance in all environments. With an integrated Linux system, 440 channels for multi- constellation data including the considerable storage and battery capacity, the operation of the N72 GNSS reference receiver is reliable and easy.



N72  
GNSS Infrastructure

## Core Technology



### 440 Channels & Multi-Constellation

With 440 channels, the N72 is designed for simultaneous tracking of GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, and SBAS satellite signals.



### LCD display and button

N72 is easy to start by front LCD display panel and button. User-friendly and function-completely interface will improve users' efficiency all-around.



### Multiple Power Supply Options

Two external power inputs make N72 an ideal receiver for GNSS base station deployment. Higher internal battery capacity with lower power consumption supports up to 15 hours operating duration.



### Smart Data Management

Cycling GNSS data storage, compressed data format option and up to eight independent logging sessions ensure the efficient use of memory. Data can be accessed via web interface, built-in FTP server, or configured to be pushed to remote FTP sites.



### Smart and Reliable

Email alarm and automatic reconnection can be activated by self-diagnose and receiver status monitoring. Multiple user rights, web interface restrictions and HTTPs encryption are applied to prevent unauthorized access. The integrated firewall, port and MAC filtering provide additional security layers.

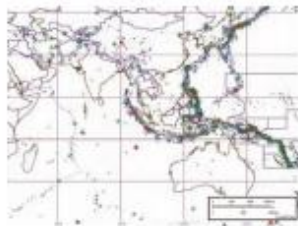


### Large and Reliable Storage

With 32GB internal storage and up to 1TB external disk storage, the N72 provides reliable and considerable storage capacity for data logging in multiple industry formats. It delivers a sustainable solution of up to 15 years data storage without extra devices.

## Applications

The N72 GNSS reference receiver provides advanced solutions to various demanding industries, such as GNSS ground based augmentation system, deformation monitoring, atmospheric research, seismic study, precision farming, machine control and vehicle and ship navigation.



N72  
GNSS Infrastructure

## Specifications

GNSS Characteristics	
<b>Channels</b>	440 <sup>(1)</sup>
<b>GPS</b>	L1C/A, L2, L2C, L2E, L5
<b>GLONASS</b>	L1C/A, L1P, L2C/A (GLONASS M only), L2P
<b>Galileo</b>	E1, E5A, E5B
<b>BeiDou</b>	B1, B2
<b>SBAS</b>	QZSS, WAAS, EGNOS, MSAS
<b>Others</b>	Pseudo-range measurement with high-precision multi-correlator Very low noise carrier phase measurement with < 1 mm precision in 1 Hz bandwidth

GNSS Accuracies <sup>(2)</sup>	
<b>Real time kinematics (RTK)</b>	Horizontal: 8 mm + 1 ppm RMS Vertical: 15 mm + 1 ppm RMS Initialization time: < 8 s Initialization reliability: > 99.9%
<b>Post-processing static</b>	Horizontal: 2.5 mm + 0.5 ppm RMS Vertical: 5 mm + 0.5 ppm RMS
<b>Post-processing static (long observation)</b>	Horizontal: 3 mm + 0.1 ppm RMS Vertical: 3.5 mm + 0.4 ppm RMS

Hardware	
<b>Size (L x W x H)</b>	265 mm x 143 mm x 68 mm (10.4 in x 5.6 in x 2.7 in)
<b>Weight</b>	2.1 kg (74.1 oz)
<b>Environment</b>	Operating: -40°C to +65 °C (-40°F to +149 °F) Storage: -45°C to +80 °C (-49°F to +176 °F)
<b>Humidity</b>	100%
<b>Ingress protection</b>	IP68
<b>Shock</b>	1m (3.3 ft) fall onto concrete

Certifications and Calibrations	
	FCC, CE, MIL-STD-810G, Method 514.7

User Interface	
<b>Front panel display</b>	-1 x LED power indicator -7 x Key-press -1 x LCD display
<b>Web User Interface</b>	

Antenna Option	
<b>Recommended antenna products</b>	-CHC A220GR GNSS Geodetic Antenna -CHC C220GR2 GNSS Choke Ring Antenna

Communications and Data recording	
<b>Ports</b>	-2 x 10 pin LEMO port (external power, USB data download, USB update, RS-232) -1 x LAN port Supports links to 10BaseT/100BaseT auto-negotiate networks HTTP, TCP/IP, UDP, FTP, NTRIP Caster, NTRIP Server, NTRIP Client Simultaneously transmits multiple data stream Support proxy server and route table  -1 x DB9 port -1 x USB port -1 x GNSS antenna port

<b>Wi-Fi</b>	802.11 b/g/n, access point mode Internally
<b>Bluetooth®</b>	integrated multimode system compatible with Android, Windows Mobile and Windows desktop operating systems

<b>Protocols</b>	-Correction formats: CMR, CMR+, SCMRX, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.2, RTD -Observables: RT17, RT27, RTCM3.x, RINEX2.11, RINEX3.02 -Position/Status I/O: NMEA 0183 V2.30 and V4.0 output
------------------	---

<b>Data storage</b>	32 GB highspeed memory External storage up to 1 TB
<b>Data output</b>	Internal data logging and position output frequency up to 50 Hz

Electrical	
<b>Power consumption</b>	3.5 W (depending on user settings)
<b>External power input</b>	9 V DC to 36 V DC
<b>Internal battery capacity</b>	10000 mAh, 7.4V
<b>Operating time<sup>(3)</sup></b>	15 h (depending on user settings)

<sup>(1)</sup> Specifications are subject to change without notice.

<sup>(1)</sup> 220 and 440 channels optional.

<sup>(2)</sup> Accuracy and reliability are determined under clear unobstructed conditions, multi-path, satellite geometry and atmospheric conditions. Performances assume minimum of 5 satellites, follow up of recommended general GPS practices.

<sup>(3)</sup> Battery life is subject to operating temperature.



© 2018 Shanghai Huace Navigation Technology Ltd. All rights reserved. The Bluetooth® world mark and logos are owned by Bluetooth SIG, Inc. The CHC and CHC logo are trademarks of Shanghai Huace Navigation echnology Limited. All other trademarks are the property of their respective owners  
- Revision November, 2018

Shanghai Huace Navigation Technology Ltd.

599 Gaojing Road, Building D  
Shanghai, 201702, China  
+86 21 54260273 WWW.CHCNAV.COM





## ANEXO 4. TRIMBLE R10 HARDWARE DESCRIPTION

DATASHEET



# Trimble R10

## GNSS SYSTEM

### A NEW LEVEL OF PRODUCTIVITY

Collect more accurate data faster and easier – no matter what the job or the environment, with the Trimble® R10 GNSS System. Built with powerful technologies like Trimble HD-GNSS, Trimble SurePoint™, Trimble CenterPoint® RTX, and Trimble xFill®, integrated into a sleek design, this unique system provides Surveyors with a powerful way to increase productivity in every job, every day.

#### The next generation of core positioning technology

The advanced Trimble HD-GNSS processing engine provides markedly reduced convergence times as well as high position and precision reliability while reducing measurement occupation time. Transcending traditional fixed/float techniques, it provides a more accurate assessment of error estimates than traditional GNSS technology.

#### Faster measurements, increased accuracy, and greater quality control

With this system, surveyors don't have to switch focus from the controller screen to the pole bubble to check that the pole is plumb. The Trimble controller displays an electronic bubble.

The system constantly monitors pole tilt and compensates while the point is automatically or manually measured. If a point is measured with pole tilt beyond a user-defined setting, Trimble Access™ software will give an alert and prompt the surveyor to accept or discard the point. Trimble SurePoint even uses the pole tilt as a controlling input. After a point is measured, tilting the pole causes the system to automatically prepare to measure the next point.

As insurance that all of your data is traceable, the Trimble R10 can record the pole tilt information for measured points. These records include tilt and compass data for 100% data traceability.

#### Future Proof Your Investment

Powerful Trimble 360 receiver technology in the Trimble R10 supports signals from all existing and planned GNSS constellations and augmentation systems. With two integrated Trimble Maxwell™ 6 chips, the Trimble R10 offers an unparalleled 440 GNSS channels. Trimble delivers business confidence with a sound GNSS investment for today and long into the future.

#### RTK Level Precision Anywhere

Trimble CenterPoint RTX delivers RTK level precision anywhere in the world without the use of a local base station or Trimble VRS™ Network.

Survey using satellite delivered, CenterPoint RTX corrections in areas where terrestrial based corrections are not available. When surveying over a great distance in a remote area, such as a pipeline or utility right of way, CenterPoint RTX eliminates the need to continuously move base stations or maintain connection to a cellular network.

#### More continuous surveying, less downtime

Leveraging a worldwide network of Trimble GNSS reference stations and satellite datalinks, Trimble xFill seamlessly fills in for gaps in your RTK or VRS connection stream. Extend xFill indefinitely with a subscription to CenterPoint RTX.

#### Ergonomically Designed

As the smallest and lightest integrated receiver in its class, the Trimble R10 is ergonomically designed to provide the surveyor with effortless handling and operation. Designed for ease of use, the progressive design incorporates a more stable center of mass at the top of the range pole, while its sleeker, taller profile provides the durability and reliability for which Trimble is known.

The Trimble R10 receiver incorporates a quick release adaptor for simple and safe removal of the receiver from the range pole. Additionally the quick release adaptor ensures a solid, stable connection between the range pole and receiver.

#### An Intelligent Solution

A smart lithium-ion battery inside the Trimble R10 system delivers extended battery life and more reliable power. A built-in LED battery status indicator allows the user to quickly check remaining battery life.

The Trimble R10 system provides a number of communications options to support any workflow. The latest mobile phone technology is built in to receive VRS corrections and connect to the Internet from the field. Access Trimble Connected Community to send or receive documents while away from the office. Using WiFi, easily connect to the Trimble R10 system using a laptop or smartphone to configure the receiver without a Trimble controller.

#### The Complete Solution: Trimble hardware and software

Bring the power and speed of the Trimble R10 system together with trusted Trimble software solutions, including Trimble Access and Trimble Business Center™.

Trimble Access field software provides specialized and customized workflows to make surveying tasks quicker and easier while enabling teams to communicate vital information between field and

office in real time. Back in the office, users can seamlessly process data with Trimble Business Center software.

The R10 GNSS system, a new era of surveying productivity beyond GNSS for professional surveyors.

## Key Features

- ▶ Cutting-edge Trimble HD-GNSS processing engine
- ▶ Precise position capture with Trimble SurePoint technology
- ▶ Trimble CenterPoint RTX provides RTK level precision anywhere without the need for a base station or VRS network
- ▶ Trimble xFill technology provides RTK coverage during connection outages
- ▶ Advanced satellite tracking with Trimble 360 receiver technology
- ▶ Sleek ergonomic design for easier handling



TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



DATASHEET

# Trimble R10 GNSS SYSTEM

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS

### Measurements

- Measuring points sooner and faster with Trimble HD-GNSS technology
- Increased measurement productivity and traceability with Trimble SurePoint electronic tilt compensation
- Worldwide centimeter level positioning using Trimble CenterPoint RTX satellite delivered corrections
- Reduced downtime due to loss of radio signal with Trimble xFill technology
- Advanced Trimble Maxwell 6 Custom Survey GNSS chips with 440 channels
- Future-proof your investment with Trimble 360 GNSS tracking
- Satellite signals tracked simultaneously:
  - GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
  - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
  - SBAS: L1C/A, L5 (For SBAS satellites that support L5)
  - Galileo: E1, E5a, E5B
  - BeiDou (COMPASS): B1, B2
- CenterPoint RTX, OmniSTAR HP, XP, G2, VBS positioning
- QZSS, WAAS, EGNOS, GAGAN
- Positioning Rates: 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, and 20 Hz

### POSITIONING PERFORMANCE<sup>1</sup>

	Code differential GNSS positioning
Horizontal	0.25 m + 1 ppm RMS
Vertical	0.50 m + 1 ppm RMS
SBAS differential positioning accuracy <sup>2</sup>	typically <5 m 3DRMS
<b>Static GNSS surveying</b>	
High-Precision Static	
Horizontal	3 mm + 0.1 ppm RMS
Vertical	3.5 mm + 0.4 ppm RMS
<b>Static and Fast Static</b>	
Horizontal	3 mm + 0.5 ppm RMS
Vertical	5 mm + 0.5 ppm RMS
<b>Real Time Kinematic surveying</b>	
Single Baseline <30 km	
Horizontal	8 mm + 1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS
Network RTK <sup>3</sup>	
Horizontal	8 mm + 0.5 ppm RMS
Vertical	15 mm + 0.5 ppm RMS
RTK start-up time for specified precisions <sup>4</sup>	2 to 8 seconds
Trimble CenterPoint RTX	
Horizontal	4 cm
Vertical	9 cm
RTX convergence time for specified precisions <sup>5</sup>	30 minutes or less
RTX QuickStart convergence time for specified precisions <sup>6</sup>	5 minutes or less
Trimble xFill <sup>7</sup>	
Horizontal	RTK <sup>8</sup> + 10 mm/minute RMS
Vertical	RTK <sup>8</sup> + 20 mm/minute RMS

1 Precision and reliability may be subject to anomalies due to multipath, obstructions, satellite geometry, and atmospheric conditions. The specifications stated recommend the use of stable mounts in an open sky view, EMI and multipath clean environment, optimal GNSS constellation configurations, along with the use of survey practices that are generally accepted for performing the highest-order surveys for the applicable application including occupation times appropriate for baseline length. Baselines longer than 30 km require precise ephemerides and occupations up to 24 hours may be required to achieve the high precision static specification.  
 2 Depends on WAAS/EGNOS system performance.  
 3 Network RTK PPM values are referenced to the closest physical base station.  
 4 May be affected by atmospheric conditions, signal multipath, obstructions and satellite geometry. Initialization reliability is continuously monitored to ensure highest quality.  
 5 Precisions are dependent on GNSS satellite availability. xFill positioning without a RTX subscription ends after 5 minutes of radio downtime. xFill positioning with a RTX subscription will continue beyond 5 minutes providing RTX has converged, with typical precisions not exceeding 6 cm horizontal, 14 cm vertical. xFill is not available in all regions, check with your local sales representative for more information.  
 6 RTX refers to the last reported precision before the correction source was lost and xFill started.  
 7 Receiver will operate normally to -40° C, internal batteries are rated to -20° C.  
 8 Tracking GPS, GLONASS and SBAS satellites.  
 9 Varies with temperature and wireless data rate. When using a receiver and internal radio in the transmit mode, it is recommended that an external 6 Ah or higher battery is used.  
 10 Varies with terrain and operating conditions.  
 11 Bluetooth type approvals are country specific.  
 12 Receiver convergence time varies based on GNSS constellation health, level of multipath, and proximity to obstructions such as large trees and buildings. Convergence times decrease significantly when using a "RTX Quickstart" on a previously surveyed point or a known survey control point.

## HARDWARE

### Physical

Dimensions (WxH)	11.9 cm x 13.6 cm (4.6 in x 5.4 in)
Weight	1.12 kg (2.49 lb) with internal battery, internal radio with UHF antenna, 3.57 kg (7.86 lb) items above plus range pole, controller & bracket
<b>Temperature<sup>7</sup></b>	
Operating	-40° C to +65° C (-40° F to +149° F)
Storage	-40° C to +75° C (-40° F to +167° F)
Humidity	100%, condensing
Ingress Protection	IP67 dustproof, protected from temporary immersion to depth of 1 m (3.28 ft)
<b>Shock and vibration</b> ..... Tested and meets the following environmental standards:	
Shock	Non-operating: Designed to survive a 2 m (6.6 ft) pole drop onto concrete. Operating: to 40 G, 10 msec. sawtooth
Vibration	MIL-STD-810F, FIG. 514.5C-1

### Electrical

- Power 11 to 24 V DC external power input with over-voltage protection on Port 1 and Port 2 (7-pin Lemo)
- Rechargeable, removable 7.4 V, 3.7 Ah Lithium-ion smart battery with LED status indicators
- Power consumption is 5.1 W in RTK rover mode with internal radio<sup>8</sup>
- Operating times on internal battery<sup>9</sup>:
  - 450 MHz and 900 MHz receive only option ..... 5.5 hours
  - 450 MHz and 900 MHz receive/transmit option (0.5 W) ..... 4.5 hours
  - 450 MHz receive/transmit option (2.0 W) ..... 3.7 hours
  - Cellular receive option ..... 5.0 hours

## COMMUNICATIONS AND DATA STORAGE

- Serial 3-wire serial (7-pin Lemo)
- USB v2.0: supports data download and high speed communications
- Radio Modem: fully integrated, sealed 450 MHz wide band receiver/transmitter with frequency range of 403 MHz to 473 MHz, support of Trimble, Pacific Crest, and SATEL radio protocols:
  - Transmit power: 2 W
  - Range: 3–5 km typical / 10 km optimal<sup>10</sup>
- Cellular: integrated, 3.5 G modem, HSDPA 7.2 Mbps (download), GPRS multi-slot class 12, EDGE multi-slot class 12, UMTS/HSDPA (WCDMA/FDD) 850/1900/2100MHz, Quad-band EGSM 850/900/1800/1900 MHz, GSM CSD, 3GPP LTE
- Bluetooth: fully integrated, fully sealed 2.4 GHz communications port (Bluetooth<sup>®</sup>)<sup>11</sup>
- WiFi: 802.11 b/g, access point and client mode, WPA/WPA2/WEP64/WEP128 encryption
- External communication devices for corrections supported on – Serial, USB, Ethernet, and Bluetooth ports
- Data storage: 4 GB internal memory; over three years of raw observables (approx. 1.4 MB /day), based on recording every 15 seconds from an average of 14 satellites
- CMR+, CMR8, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2 input and output
- 24 NMEA outputs, GSOE, RT17 and RT27 outputs

### WebUI

- Offers simple configuration, operation, status, and data transfer
- Accessible via WiFi, Serial, USB, and Bluetooth

### Supported Trimble Controllers

- Trimble TSC3, Trimble Slate, Trimble CU, Trimble Tablet Rugged PC

## CERTIFICATIONS

IEC 60950-1 (Electrical Safety); FCC OET Bulletin 65 (RF Exposure Safety); FCC Part 15.105 (Class B), Part 15.247, Part 90, PTCRB (AT&T), Bluetooth SIG; WFA IC ES-003 (Class B); Radio Equipment Directive 2014/53/EU, RoHS, WEEE; Australia & New Zealand RCM, Japan Radio and Telecom MIC



Specifications subject to change without notice.

Contact your local Trimble Authorized Distribution Partner for more information

### NORTH AMERICA

Trimble Inc.  
10368 Westmoor Dr  
Westminster CO 80021  
USA

### EUROPE

Trimble Germany GmbH  
Am Prime Parc 11  
65479 Raunheim  
GERMANY

### ASIA-PACIFIC

Trimble Navigation  
Singapore Pty Limited  
80 Marine Parade Road  
#22-06, Parkway Parade  
Singapore 449269  
SINGAPORE

## ANEXO 5. CÓDIGO DEL SCRIPT SNRPRN.M

```
%Script para obtener, a partir de archivos rinex en formato 2.11, los
%valores de SNR de las bandas L1, L2 y L5 de los sistemas GPS y GALILEO,
%según unos rangos de elevación y azimut determinados. Se debe tener el
%programa TEQC en la misma carpeta de trabajo.
%Estos valores son convertidos de db-Hz a una escala lineal en VV/VV, se
%realiza un ajuste de segundo orden para quitar la parte directa de la
%señal y se representan los resultados en función de la elevación del
%satélite. Los resultados son guardados en carpetas con el nombre del
%archivo RINEX que se esté procesando.
clear all %Se limpian todas las variables
close all %Se cierran todas las figuras
fclose all %Se cierran todos los archivos
clc %Limpieza de la línea de comandos
DelimitadorDeRuta = '\'; %Delimitador de la ruta de windows, para linux es /
Loqueseestaprocando='Playal'; %Descripción de los datos que se estén procesando
CarpetaRinex='D:\Universidad\TFG\ProgramasSoilMoisture\ArchivosRinex\'; %%Carpeta donde
se encuentran los rinex
AzimutMin=-360;
AzimutMax=360;
ElevacionMin=5;
ElevacionMax=30;
Galileo=0; %elegir el receptor por si tiene o no galileo 0=no 1=si
CarpetaTrabajo='D:\Universidad\TFG\ProgramasSoilMoisture\'; %Carpeta de salida de las
graficas
ListadoDeRinex=dir([CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,'*.19o']); %Rinex en la carpeta
NumeroDeRinex = length(ListadoDeRinex); %Numero de Archivos Rinex que hay en la carpeta
if NumeroDeRinex==0
    ListadoDeRinex=dir([CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,'*.18o']);
    NumeroDeRinex = length(ListadoDeRinex);
    TEQC='teqc +qc +plots -R -nav '; %Funciones del TEQC
    if Galileo==0
        Sufijos={'18n','18o'}; %Sufijos del TEQC
    else
        Sufijos={'18n','18l','18o'};
    end
else
    TEQC=' teqc +qc -R +plots -R -nav '; %Funciones del TEQC
    if Galileo==0
        Sufijos={'19n','19o'}; %Sufijos del TEQC
    else
        Sufijos={'19n','19l','19o'};
    end
end
for ij=1:NumeroDeRinex
    split=regexp(ListadoDeRinex(ij).name,'\.','split'); %Separamos el nombre del sufijo
    .19o
    MatrizSNRyPRNGPS(1).L5VV=0;
    Nombre=split{1}; %Cogemos solo la parte numerica
    if Galileo==0
        ArchivoCMD1=[];
        ArchivoCMD1=[ArchivoCMD1,
        ',CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,Nombre,Sufijos{1,1}]; %Creamos la ruta donde esta el
archivo
        ArchivoCMD2=[];
        ArchivoCMD2=[ArchivoCMD2,
        ',CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,Nombre,Sufijos{1,2}];
        ArchivoCMD3=[];
        execResult=system([TEQC,ArchivoCMD1,ArchivoCMD2]);
    else
        ArchivoCMD1=[];
        ArchivoCMD1=[ArchivoCMD1,
        ',CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,Nombre,Sufijos{1,1}]; %Creamos la ruta donde esta el
archivo
        ArchivoCMD2=[];
        ArchivoCMD2=[ArchivoCMD2,
        ',CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,Nombre,Sufijos{1,2}];
        ArchivoCMD3=[];
        ArchivoCMD3=[ArchivoCMD3,
        ',CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,Nombre,Sufijos{1,3}];
        ArchivoCMD4=[];
        execResult=system([TEQC,ArchivoCMD1,ArchivoCMD2,ArchivoCMD3]);
    end
    Elevacion=LeerTEQC([CarpetaRinex,Nombre,'.ele']); %Sacamos los valores de elevacion,
azimut, L1 L2 y L5.
    Azimut=LeerTEQC([CarpetaRinex,Nombre,'.azi']);
    SNRL1=LeerTEQC([CarpetaRinex,Nombre,'.snl']);
end
```

```
SNRL2=LeerTEQC([CarpetaRinex,Nombre,'.sn2']);
SNRL5=LeerTEQC([CarpetaRinex,Nombre,'.sn5']);

PRNSGPS=unique(Elevacion.data(find(Elevacion.data(:,Elevacion.sys)==double('G')),Elevacion.prn)); %sacamos los satelites de cada constelacion que hay

PRNSGALILEO=unique(Elevacion.data(find(Elevacion.data(:,Elevacion.sys)==double('E')),Elevacion.prn));
PRNSUNICOS=[PRNSGPS' PRNSGALILEO'];
PRNSUNICOS=PRNSUNICOS';
for k=1:length(PRNSGPS) %Se va guardando, si coincide el PRN con el de la matriz
donde están todos los datos
PRN=PRNSGPS(k);
n=1; %en las matrices, además del segundo de la observacion, para despues
guardar solo los datos
MatrizSNRGPS(k).PRN=PRN; %que se hayan hecho en el mismo segundo
MatrizSNRGPS(k).SISTEMA=71;
for p=1:length(Elevacion.data)
if (Elevacion.data(p,3)==PRN) && (Elevacion.data(p,2)==71)
MatrizSNRGPS(k).Elevacion(n,2)=Elevacion.data(p,4);
MatrizSNRGPS(k).Elevacion(n,1)=Elevacion.data(p,1);
n=n+1;
end
end
n=1;
for p=1:length(SNRL1.data)
if (SNRL1.data(p,3)==PRN) && (SNRL1.data(p,2)==71)
MatrizSNRGPS(k).SNRL1(n,2)=SNRL1.data(p,4);
MatrizSNRGPS(k).SNRL1(n,1)=SNRL1.data(p,1);
n=n+1;
end
end
n=1;
for p=1:length(SNRL2.data)
if (SNRL2.data(p,3)==PRN) && (SNRL2.data(p,2)==71)
MatrizSNRGPS(k).SNRL2(n,2)=SNRL2.data(p,4);
MatrizSNRGPS(k).SNRL2(n,1)=SNRL2.data(p,1);
n=n+1;
end
end
n=1;
for p=1:length(SNRL5.data)
if (SNRL5.data(p,3)==PRN) && (SNRL5.data(p,2)==71)
MatrizSNRGPS(k).SNRL5(n,2)=SNRL5.data(p,4);
MatrizSNRGPS(k).SNRL5(n,1)=SNRL5.data(p,1);
n=n+1;
end
end
n=1;
for p=1:length(Azimut.data)
if (Azimut.data(p,3)==PRN) && (Azimut.data(p,2)==71)
MatrizSNRGPS(k).Azimut(n,2)=Azimut.data(p,4);
MatrizSNRGPS(k).Azimut(n,1)=Azimut.data(p,1);
n=n+1;
end
end
end

for k=1:length(PRNSGALILEO)
PRN=PRNSGALILEO(k);
n=1;
MatrizSNRGALILEO(k).PRN=PRN;
MatrizSNRGALILEO(k).SISTEMA=69;
for p=1:length(Elevacion.data)
if (Elevacion.data(p,3)==PRN) && (Elevacion.data(p,2)==69)
MatrizSNRGALILEO(k).Elevacion(n,2)=Elevacion.data(p,4);
MatrizSNRGALILEO(k).Elevacion(n,1)=Elevacion.data(p,1);
n=n+1;
end
end
n=1;
for p=1:length(SNRL1.data)
if (SNRL1.data(p,3)==PRN) && (SNRL1.data(p,2)==69)
MatrizSNRGALILEO(k).SNRL1(n,2)=SNRL1.data(p,4);
MatrizSNRGALILEO(k).SNRL1(n,1)=SNRL1.data(p,1);
n=n+1;
end
end
```

```
end
n=1;
for p=1:length(SNRL2.data)
    if (SNRL2.data(p,3)==PRN) && (SNRL2.data(p,2)==69)
        MatrizSNRGALILEO(k).SNRL2(n,2)=SNRL2.data(p,4);
        MatrizSNRGALILEO(k).SNRL2(n,1)=SNRL2.data(p,1);
        n=n+1;
    end
end
n=1;
for p=1:length(SNRL5.data)
    if (SNRL5.data(p,3)==PRN) && (SNRL5.data(p,2)==69)
        MatrizSNRGALILEO(k).SNRL5(n,2)=SNRL5.data(p,4);
        MatrizSNRGALILEO(k).SNRL5(n,1)=SNRL5.data(p,1);
        n=n+1;
    end
end
n=1;
for p=1:length(Azimut.data)
    if (Azimut.data(p,3)==PRN) && (Azimut.data(p,2)==69)
        MatrizSNRGALILEO(k).Azimut(n,2)=Azimut.data(p,4);
        MatrizSNRGALILEO(k).Azimut(n,1)=Azimut.data(p,1);
        n=n+1;
    end
end
end
%%
for k=1:length(PRNSGPS) %Se une elevacion y señal y se eliminan valores nulos
    PRN=PRNSGPS(k)
    MatrizSNRyPRNGPS(k).PRN=PRN
    A=MatrizSNRGPS(k).SNRL1;
    B=MatrizSNRGPS(k).Elevacion;
    q = unique([A(:,1);B(:,1)]);
    aInd = ismember(q,A(:,1));
    bInd = ismember(q,B(:,1));
    x = zeros(length(q),3);
    x(:,1) = q;
    x(aInd,2) = A(:,2);
    x(not(aInd),2) = NaN;
    x(bInd,3) = B(:,2);
    x(not(bInd),3) = NaN;
    MatrizSNRyPRNGPS(k).L1db=x;
    if length(MatrizSNRGPS(k).SNRL2) > 1
        A=MatrizSNRGPS(k).SNRL2;
        B=MatrizSNRGPS(k).Elevacion;
        q = unique([A(:,1);B(:,1)]);
        aInd = ismember(q,A(:,1));
        bInd = ismember(q,B(:,1));
        x = zeros(length(q),3);
        x(:,1) = q;
        x(aInd,2) = A(:,2);
        x(not(aInd),2) = NaN;
        x(bInd,3) = B(:,2);
        x(not(bInd),3) = NaN;
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L2db=x;
    end
    if length(MatrizSNRGPS(k).SNRL5) > 1
        A=MatrizSNRGPS(k).SNRL5;
        B=MatrizSNRGPS(k).Elevacion;
        q = unique([A(:,1);B(:,1)]);
        aInd = ismember(q,A(:,1));
        bInd = ismember(q,B(:,1));
        x = zeros(length(q),3);
        x(:,1) = q;
        x(aInd,2) = A(:,2);
        x(not(aInd),2) = NaN;
        x(bInd,3) = B(:,2);
        x(not(bInd),3) = NaN;
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L5db=x;
    end
    if length(MatrizSNRGPS(k).Azimut) > 1
        A=MatrizSNRGPS(k).Azimut;
        B=MatrizSNRGPS(k).Elevacion;
        q = unique([A(:,1);B(:,1)]);
        aInd = ismember(q,A(:,1));
        bInd = ismember(q,B(:,1));
        x = zeros(length(q),3);
```

```
x(:,1) = q;  
x(aInd,2) = A(:,2);  
x(not(aInd),2) = NaN;  
x(bInd,3) = B(:,2);  
x(not(bInd),3) = NaN;  
MatrizSNRyPRNGPS(k).Azimut=x;  
end  
end  
%%  
if Galileo==1  
    for k=1:length(PRNSGALILEO)  
        if length(MatrizSNRGALILEO(k).SNRL1) > 1  
            PRN=PRNSGALILEO(k)  
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).PRN=PRN  
            A=MatrizSNRGALILEO(k).SNRL1;  
            B=MatrizSNRGALILEO(k).Elevacion;  
            q = unique([A(:,1);B(:,1)]);  
            aInd = ismember(q,A(:,1));  
            bInd = ismember(q,B(:,1));  
            x = zeros(length(q),3);  
            x(:,1) = q;  
            x(aInd,2) = A(:,2);  
            x(not(aInd),2) = NaN;  
            x(bInd,3) = B(:,2);  
            x(not(bInd),3) = NaN;  
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db=x;  
        end  
        if length(MatrizSNRGALILEO(k).SNRL5) > 1  
            PRN=PRNSGALILEO(k)  
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).PRN=PRN  
            A=MatrizSNRGALILEO(k).SNRL5;  
            B=MatrizSNRGALILEO(k).Elevacion;  
            q = unique([A(:,1);B(:,1)]);  
            aInd = ismember(q,A(:,1));  
            bInd = ismember(q,B(:,1));  
            x = zeros(length(q),3);  
            x(:,1) = q;  
            x(aInd,2) = A(:,2);  
            x(not(aInd),2) = NaN;  
            x(bInd,3) = B(:,2);  
            x(not(bInd),3) = NaN;  
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db=x;  
        end  
        if length(MatrizSNRGALILEO(k).Azimut) > 1  
            PRN=PRNSGALILEO(k)  
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).PRN=PRN  
            A=MatrizSNRGALILEO(k).Azimut;  
            B=MatrizSNRGALILEO(k).Elevacion;  
            q = unique([A(:,1);B(:,1)]);  
            aInd = ismember(q,A(:,1));  
            bInd = ismember(q,B(:,1));  
            x = zeros(length(q),3);  
            x(:,1) = q;  
            x(aInd,2) = A(:,2);  
            x(not(aInd),2) = NaN;  
            x(bInd,3) = B(:,2);  
            x(not(bInd),3) = NaN;  
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut=x;  
        end  
    end  
end  
for a=1:length(MatrizSNRyPRNGPS)  
    A=MatrizSNRyPRNGPS(1,a).L1db;  
    A(any(isnan(A),2),:) = [];  
    MatrizSNRyPRNGPS(1,a).L1db=A;  
    A=MatrizSNRyPRNGPS(1,a).L2db;  
    A(any(isnan(A),2),:) = [];  
    MatrizSNRyPRNGPS(1,a).L2db=A;  
    A=MatrizSNRyPRNGPS(1,a).L5db;  
    A(any(isnan(A),2),:) = [];  
    MatrizSNRyPRNGPS(1,a).L5db=A;  
    A=MatrizSNRyPRNGPS(1,a).Azimut;  
    A(any(isnan(A),2),:) = [];  
    MatrizSNRyPRNGPS(1,a).Azimut=A;  
end  
if Galileo==1
```

```
for a=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
    A=MatrizSNRyPRNGALILEO(1,a).L1db;
    A(any(isnan(A),2),:)= [];
    MatrizSNRyPRNGALILEO(1,a).L1db=A;
    A=MatrizSNRyPRNGALILEO(1,a).Azimut;
    A(any(isnan(A),2),:)= [];
    MatrizSNRyPRNGALILEO(1,a).Azimut=A;
    A=MatrizSNRyPRNGALILEO(1,a).L5db;
    A(any(isnan(A),2),:)= [];
    MatrizSNRyPRNGALILEO(1,a).L5db=A;
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Establecemos la restricción de azimut
%%
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut(:, 2) > AzimutMin;
    IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut(:, 2) < AzimutMax;
    A=IndiceInicial+IndiceFinal;
    A(:,2)=A(:,1);
    A(:,3)=A(:,1);
    A=A-1;
    MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut=MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut.*A;
    MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut( all(~MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut,2), : ) = [];

end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db) > 1

        IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut(:, 2) > AzimutMin;
        IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut(:, 2) < AzimutMax;
        A=IndiceInicial+IndiceFinal;
        A(:,2)=A(:,1);
        A(:,3)=A(:,1);
        A=A-1;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut=MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut.*A;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut( all(~MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut,2), : ) = [];

    end
end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db) > 1
        IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut(:, 2) > AzimutMin;
        IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut(:, 2) < AzimutMax;
        A=IndiceInicial+IndiceFinal;
        A(:,2)=A(:,1);
        A(:,3)=A(:,1);
        A=A-1;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut=MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut.*A;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut( all(~MatrizSNRyPRNGGPS(k).Azimut,2), : ) = [];

    end
end
if Galileo==1
    for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db) > 1
            IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut(:, 2) > AzimutMin;
            IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut(:, 2) < AzimutMax;
            A=IndiceInicial+IndiceFinal;
            A(:,2)=A(:,1);
            A(:,3)=A(:,1);
            A=A-1;
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut.*A;
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut( all(~MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut,2),
: ) = [];

        end
    end
    for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db) > 1
            IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut(:, 2) > AzimutMin;
            IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut(:, 2) < AzimutMax;
            A=IndiceInicial+IndiceFinal;
            A(:,2)=A(:,1);
            A(:,3)=A(:,1);
            A=A-1;
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut.*A;
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut( all(~MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut,2),
: ) = [];
```

```
        end
    end
end
%%

for k=1:length(MatrizSNRyPRNGPS);
    if length(MatrizSNRyPRNGPS(k).L1db) >1
        A=MatrizSNRyPRNGPS(k).L1db;
        B=MatrizSNRyPRNGPS(k).Azimut;
        q = unique([A(:,1);B(:,1)]); % Unique sorted catenate.
        aInd = ismember(q,A(:,1)); % All dates in A
        bInd = ismember(q,B(:,1)); % All dates in b
        x = zeros(length(q),3);
        x(:,1) = q;
        x(aInd,2) = A(:,2);
        x(not(aInd),2) = NaN;
        x(bInd,3) = B(:,2);
        x(bInd,3) = B(:,3);
        x(not(bInd),3) = NaN;
        x(bInd,1)=B(:,1);
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L1db=x;
        A=MatrizSNRyPRNGPS(1,k).L1db;
        A(any(isnan(A),2),:) = [];
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L1db=A;
    end
end

for k=1:length(MatrizSNRyPRNGPS);
    if length(MatrizSNRyPRNGPS(k).L2db) >1
        A=MatrizSNRyPRNGPS(k).L2db;
        B=MatrizSNRyPRNGPS(k).Azimut;
        q = unique([A(:,1);B(:,1)]); % Unique sorted catenate.
        aInd = ismember(q,A(:,1)); % All dates in A
        bInd = ismember(q,B(:,1)); % All dates in b
        x = zeros(length(q),3);
        x(:,1) = q;
        x(aInd,2) = A(:,2);
        x(not(aInd),2) = NaN;
        x(bInd,3) = B(:,2);
        x(bInd,3) = B(:,3);
        x(not(bInd),3) = NaN;
        x(bInd,1)=B(:,1);
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L2db=x;
        A=MatrizSNRyPRNGPS(1,k).L2db;
        A(any(isnan(A),2),:) = [];
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L2db=A;
    end
end

for k=1:length(MatrizSNRyPRNGPS);
    if length(MatrizSNRyPRNGPS(k).L5db) >1
        A=MatrizSNRyPRNGPS(k).L5db;
        B=MatrizSNRyPRNGPS(k).Azimut;
        q = unique([A(:,1);B(:,1)]); % Unique sorted catenate.
        aInd = ismember(q,A(:,1)); % All dates in A
        bInd = ismember(q,B(:,1)); % All dates in b
        x = zeros(length(q),3);
        x(:,1) = q;
        x(aInd,2) = A(:,2);
        x(not(aInd),2) = NaN;
        x(bInd,3) = B(:,2);
        x(bInd,3) = B(:,3);
        x(not(bInd),3) = NaN;
        x(bInd,1)=B(:,1);
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L5db=x;
        A=MatrizSNRyPRNGPS(1,k).L5db;
        A(any(isnan(A),2),:) = [];
        MatrizSNRyPRNGPS(k).L5db=A;
    end
end

if Galileo==1;
    for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO);
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db) >1
            A=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db;
            B=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut;
            q = unique([A(:,1);B(:,1)]); % Unique sorted catenate.
            aInd = ismember(q,A(:,1)); % All dates in A
        end
    end
end
```



```
bInd = ismember(q,B(:,1)); % All dates in b
x = zeros(length(q),3);
x(:,1) = q;
x(aInd,2) = A(:,2);
x(not(aInd),2) = NaN;
x(bInd,3) = B(:,2);
x(bInd,3) = B(:,3);
x(not(bInd),3) = NaN;
x(bInd,1)=B(:,1);
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db=x;
A=MatrizSNRyPRNGALILEO(1,k).L1db;
A(any(isnan(A),2),:) = [];
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db=A;
end
end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO);
if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db) >1
A=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db;
B=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).Azimut;
q = unique([A(:,1);B(:,1)]); % Unique sorted concatenate.
aInd = ismember(q,A(:,1)); % All dates in A
bInd = ismember(q,B(:,1)); % All dates in b
x = zeros(length(q),3);
x(:,1) = q;
x(aInd,2) = A(:,2);
x(not(aInd),2) = NaN;
x(bInd,3) = B(:,2);
x(bInd,3) = B(:,3);
x(not(bInd),3) = NaN;
x(bInd,1)=B(:,1);
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db=x;
A=MatrizSNRyPRNGALILEO(1,k).L5db;
A(any(isnan(A),2),:) = [];
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db=A;
end
end
end
%%
%%
%%Sacamos la primera parte si hubiese mas de una
%%
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
aux=length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db);
p=1;
while p<length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db)-1
Diferencia=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(p+1,1)-MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(p,1);
p=p+1;
if Diferencia>900
MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(p:end,:)=[];
p=aux;
end
end
end
end
%%
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
aux=length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db);
p=1;
while p<length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db)-1
Diferencia=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(p+1,1)-MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(p,1);
p=p+1;
if Diferencia>900
MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(p:end,:)=[];
p=aux;
end
end
end
end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
aux=length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db);
p=1;
while p<length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db)-1
Diferencia=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(p+1,1)-MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(p,1);
p=p+1;
if Diferencia>900
MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(p:end,:)=[];
p=aux;
end
end
end
end
end
```

```
if Galileo==1
    for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        aux=length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db);
        p=1;
        while p<length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db)-1
            Diferencia=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(p+1,1)-
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(p,1);
            p=p+1;
            if Diferencia>900
                MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(p:end,:)=[];
                p=aux;
            end
        end
    end
    for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        aux=length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db);
        p=1;
        while p<length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db)-1
            Diferencia=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(p+1,1)-
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(p,1);
            p=p+1;
            if Diferencia>900
                MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(p:end,:)=[];
                p=aux;
            end
        end
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Dividimos entre ascendente y descendente
%%
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    aux=length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db);
    p=1;
    while p<length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db)-1
        Diferencia=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(p+1,3)-MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(p,3);
        p=p+1;
        if Diferencia<-0.001
            MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(p:end,:)=[];
            p=aux;
        end
    end
end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    aux=length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db);
    p=1;
    while p<length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db)-1
        Diferencia=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(p+1,3)-MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(p,3);
        p=p+1;
        if Diferencia<-0.001
            MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(p:end,:)=[];
            p=aux;
        end
    end
end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    aux=length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db);
    p=1;
    while p<length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db)-1
        Diferencia=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(p+1,3)-MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(p,3);
        p=p+1;
        if Diferencia<-0.001
            MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(p:end,:)=[];
            p=aux;
        end
    end
end
end
if Galileo==1;
    for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        aux=length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db);
        p=1;
        while p<length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db)-1
            Diferencia=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(p+1,3)-
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(p,3);
            p=p+1;
            if Diferencia<-0.001
                MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(p:end,:)=[];
                p=aux;
            end
        end
    end
end
```

```

        end
    end
end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
    aux=length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db);
    p=1;
    while p<length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db)-1
        Diferencia=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(p+1,3)-
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(p,3);
        p=p+1;
        if Diferencia<-0.001
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(p:end,:)=[];
            p=aux;
        end
    end
end
end
end
%%%%Seleccinamos solo los satelites entre la elevación determinada, 5 a 30 por
ejemplo
%%
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(:, 3) > ElevacionMin;
    IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db(:, 3) < ElevacionMax;
    A=IndiceInicial+IndiceFinal;
    A(:,2)=A(:,1);
    A(:,3)=A(:,1);
    A=A-1;
    MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db.*A;
    MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db( all(~MatrizSNRyPRNGGPS(k).L1db,2), : ) = [];

end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db) > 1

        IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(:, 3) > ElevacionMin;
        IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db(:, 3) < ElevacionMax;
        A=IndiceInicial+IndiceFinal;
        A(:,2)=A(:,1);
        A(:,3)=A(:,1);
        A=A-1;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db.*A;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db( all(~MatrizSNRyPRNGGPS(k).L2db,2), : ) = [];

    end
end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db) > 1
        IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(:, 3) > ElevacionMin;
        IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db(:, 3) < ElevacionMax;
        A=IndiceInicial+IndiceFinal;
        A(:,2)=A(:,1);
        A(:,3)=A(:,1);
        A=A-1;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db=MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db.*A;
        MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db( all(~MatrizSNRyPRNGGPS(k).L5db,2), : ) = [];

    end
end
if Galileo==1
    for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db) > 1
            IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(:, 3) > ElevacionMin;
            IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db(:, 3) < ElevacionMax;
            A=IndiceInicial+IndiceFinal;
            A(:,2)=A(:,1);
            A(:,3)=A(:,1);
            A=A-1;
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db.*A;
            MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db( all(~MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L1db,2), : )
= [];

        end
    end
for k=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
    if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db) > 1
        IndiceInicial = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(:, 3) > ElevacionMin;
        IndiceFinal = MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db(:, 3) < ElevacionMax;
        A=IndiceInicial+IndiceFinal;
        A(:,2)=A(:,1);

```

```

A(:,3)=A(:,1);
A=A-1;
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db=MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db.*A;
MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db( all(~MatrizSNRyPRNGALILEO(k).L5db,2), : )
= [];
    end
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Ajuste polinomico de bajo orden para quitar la parte del
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%multipath
%%
%%%Pasamos de Db a VV
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    for j=1:size(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1db)
        if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1db) > 1
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(j,1)=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1db(j,1);
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(j,2)=10.^(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1db(j,2)/20);
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(j,3)=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1db(j,3);
        end
    end
    for j=1:size(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2db)
        if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2db) > 1
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV(j,1)=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2db(j,1);
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV(j,2)=10.^(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2db(j,2)/20);
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV(j,3)=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2db(j,3);
        end
    end
    for j=1:size(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5db)
        if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5db) > 1
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5VV(j,1)=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5db(j,1);
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5VV(j,2)=10.^(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5db(j,2)/20);
            MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5VV(j,3)=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5db(j,3);
        end
    end
end
end
if Galileo==1
    for i=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1db) > 1
            for j=1:size(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1db)
                MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(j,1)=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1db(j,1);
                MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(j,2)=10.^(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1db(j,2)/20);
                MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(j,3)=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1db(j,3);
            end
        end
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5db) > 1
            for j=1:size(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5db)
                MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(j,1)=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5db(j,1);
                MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(j,2)=10.^(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5db(j,2)/20);
                MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(j,3)=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5db(j,3);
            end
        end
    end
end
end
%%
%%%Colocamos el ajuste de 2 orden y restamos para sacar la directa
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV) > 1
        ele=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,3);
        ele=sind(ele);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        p=polyfit(ele,MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,2),2);
        MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1MVV=polyval(p,ele);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        % MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1MVV=polyval(p,MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,3));
    end
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV) > 1
        ele=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV(:,3);
        ele=sind(ele);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        p=polyfit(ele,MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV(:,2),2);
        MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2MVV=polyval(p,ele);
    end
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5VV) > 1
        ele=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5VV(:,3);

```

```

        ele=sind(ele);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        p=polyfit(ele,MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,2),2);
        MatrizSNRyPRNGPS(i).L5MVV=polyval(p,ele);
    end
end
if Galileo==1
    for i=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV) > 1
            ele=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,3);
            ele=sind(ele);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
            p=polyfit(ele,MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,2),2);
            MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1MVV=polyval(p,ele);
        end
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV) > 1
            ele=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,3);
            ele=sind(ele);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
            p=polyfit(ele,MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,2),2);
            MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5MVV=polyval(p,ele);
        end
    end
end
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS) %resta
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV) > 1
        MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1DVV=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,2)-
MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1MVV
    end
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV) > 1
        MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2DVV=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2VV(:,2)-
MatrizSNRyPRNGGPS(i).L2MVV
    end
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5VV) > 1
        MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5DVV=MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5VV(:,2)-
MatrizSNRyPRNGGPS(i).L5MVV
    end
end
if Galileo==1
    for i=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO) %resta
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV) > 1
            MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1DVV=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,2)-
MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1MVV
        end
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV) > 1
            MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5DVV=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,2)-
MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5MVV
        end
    end
end

%%
%Obtenemos las gráficas del total, multipath y directo L1
dia=str2num(Nombre); %obtenemos el dia
mkdir(['Dia',num2str(dia)]) %creamos la carpeta
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGGPS)
    if length(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV) > 1
        figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
        subplot(2,2,1);
        hold on;
        ele=sind(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,3));
        %plot(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,3),MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,2));
        plot(ele,MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,2));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        title('SNR TOTAL (V/V)');
        xlabel('seno (Elevacion)');
        ylabel('SNR');
        subplot(2,2,2);
        plot(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,3),MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1MVV(:,1));
        title('SNR DIRECTA (V/V)');
        xlabel('Elevacion');
        ylabel('SNR');
        subplot(2,2,3);
        plot(MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1VV(:,3),MatrizSNRyPRNGGPS(i).L1DVV(:,1));
        title('SNR MULTIPATH (V/V)');
        xlabel('Elevacion');
    end
end

```

```
ylabel('SNR')
subplot(2,2,4);
plot(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1VV(:,1),MatrizSNRyPRNGPS(i).L1VV(:,3));
PRN=MatrizSNRyPRNGPS(i).PRN;
title(['Elevacion del PRN ',num2str(PRN), 'GPS L1'])
xlabel('Elevacion')
ylabel('Tiempo')

temp=[CarpetaTrabajo,'Dia',num2str(dia),'\\',num2str(dia),Loqueseestaprocesando,'L1GPS',n
um2str(PRN),'.png']
saveas(gcf,temp);
end
end
%%
%%Obtenemos las gráficas del total, multipath y directo L2
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGPS)
if length(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV) > 1
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
subplot(2,2,1);
hold on;
ele=sind(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,3));
plot(ele,MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,2));
title('SNR TOTAL (V/V)');
xlabel('seno(Elevacion)')
ylabel('SNR')
subplot(2,2,2);
plot(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,3),MatrizSNRyPRNGPS(i).L2MVV(:,1));
title('SNR DIRECTA (V/V)');
xlabel('Elevacion')
ylabel('SNR')
subplot(2,2,3);
plot(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,3),MatrizSNRyPRNGPS(i).L2DVV(:,1));
title('SNR MULTIPATH (V/V)');
xlabel('Elevacion')
ylabel('SNR')
subplot(2,2,4);
plot(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,1),MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,3));
PRN=MatrizSNRyPRNGPS(i).PRN;
title(['Elevacion del PRN ',num2str(PRN), 'GPS L2'])
xlabel('Elevacion')
ylabel('Tiempo')

temp=[CarpetaTrabajo,'Dia',num2str(dia),'\\',num2str(dia),Loqueseestaprocesando,'L2GPS',n
um2str(PRN),'.png']
saveas(gcf,temp);
end
end
%%
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGPS)
if length(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV) > 1
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
subplot(2,2,1);
hold on;
ele=sind(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,3));
plot(ele,MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,2));
title('SNR TOTAL (V/V)');
xlabel('seno(Elevacion)')
ylabel('SNR')
subplot(2,2,2);
plot(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,3),MatrizSNRyPRNGPS(i).L5MVV(:,1));
title('SNR DIRECTA (V/V)');
xlabel('Elevacion')
ylabel('SNR')
subplot(2,2,3);
plot(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,3),MatrizSNRyPRNGPS(i).L5DVV(:,1));
title('SNR MULTIPATH (V/V)');
xlabel('Elevacion')
ylabel('SNR')
subplot(2,2,4);
plot(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,1),MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,3));
PRN=MatrizSNRyPRNGPS(i).PRN;
title(['Elevacion del PRN ',num2str(PRN), 'GPS L5'])
xlabel('Elevacion')
ylabel('Tiempo')

temp=[CarpetaTrabajo,'Dia',num2str(dia),'\\',num2str(dia),Loqueseestaprocesando,'L5GPS',n
um2str(PRN),'.png']
```

```
        saveas(gcf,temp);
    end
end
%%
%Obtenemos las gráficas del total, multipath y directo L2
if Galileo==1
    for i=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
        if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV) > 1
            figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
            subplot(2,2,1);
            hold on;
            ele=sind(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,3));
            plot(ele,MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,2));
            title('SNR TOTAL (V/V)');
            xlabel('seno(Elevacion)');
            ylabel('SNR');
            subplot(2,2,2);

            plot(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,3),MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1MVV(:,1));
            title('SNR DIRECTA (V/V)');
            xlabel('Elevacion');
            ylabel('SNR');
            subplot(2,2,3);

            plot(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,3),MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1DVV(:,1));
            title('SNR MULTIPATH (V/V)');
            xlabel('Elevacion');
            ylabel('SNR');
            subplot(2,2,4);

            plot(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,1),MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,3));
            PRN=MatrizSNRyPRNGPS(i).PRN;
            title(['Elevacion del PRN ',num2str(PRN), ' GALILEO E1']);
            xlabel('Elevacion');
            ylabel('Tiempo');

            temp=[CarpetaTrabajo,'Dia',num2str(dia),'\\',num2str(dia),Loqueseestaprocesando,'E1GALILEO',num2str(PRN),'.png'];
            saveas(gcf,temp);
        end
    end
end
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
    if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV) > 1
        figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
        subplot(2,2,1);
        hold on;
        ele=sind(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,3));
        plot(ele,MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,2));
        title('SNR TOTAL (V/V)');
        xlabel('seno(Elevacion)');
        ylabel('SNR');
        subplot(2,2,2);

        plot(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,3),MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5MVV(:,1));
        title('SNR DIRECTA (V/V)');
        xlabel('Elevacion');
        ylabel('SNR');
        subplot(2,2,3);

        plot(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,3),MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5DVV(:,1));
        title('SNR MULTIPATH (V/V)');
        xlabel('Elevacion');
        ylabel('SNR');
        subplot(2,2,4);

        plot(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,1),MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,3));
        PRN=MatrizSNRyPRNGPS(i).PRN;
        title(['Elevacion del PRN ',num2str(PRN), ' GALILEO E5']);
        xlabel('Elevacion');
        ylabel('Tiempo');

        temp=[CarpetaTrabajo,'Dia',num2str(dia),'\\',num2str(dia),Loqueseestaprocesando,'E5GALILEO',num2str(PRN),'.png'];
        saveas(gcf,temp);
    end
end
end
```

```
if Galileo==1

temp=[CarpetaTrabajo, 'Dia', num2str(dia), '\', num2str(dia), Loqueseestaprocesando, 'GALILEO'
, '.mat']
save([temp], 'MatrizSNRyPRNGALILEO');
end

temp=[CarpetaTrabajo, 'Dia', num2str(dia), '\', num2str(dia), Loqueseestaprocesando, 'GPS', '.m
at']

save([temp], 'MatrizSNRyPRNGGPS');
close all
clear MatrizSNRyPRNGGPS
clear MatrizSNRyPRNGALILEO
clear MatrizSNRyGPS
clear MatrizSNRyPRNGALILEO

end
```

## ANEXO 6. CÓDIGO DE LA FUNCIÓN LEERTEQC.M

```
%esta función se encarga de leer y estructurar los resultados de los ficheros
%resultado del TEQC
function resultados=LeerTEQC(archivo)
resultados=struct; %se define la estructura del objetivo resultados, como en java
resultados.tick=1; %tiempo
resultados.sys=2; %sistema
resultados.prn=3;%PRN
resultados.obs=4; %observable
NumTotalObs = ContarObs(archivo); %se llama a la función alldatacnt que saca el num
total de observables
if isnan(NumTotalObs) %si no hay datos, error.
fprintf(['No hay observables para ordenar\n'])
return;
end
fprintf(['Ordenando observables...\n'])
Observables=nan(NumTotalObs,4);% se estructura en 4 columnas
ObservablesI=0;
fid=fopen(archivo);
linea=fgetl(fid);%Compact2,3...
linea=fgetl(fid);
comienzoGPS=regexp(linea, '\d*\.\.?*\d*', 'match');%
comienzoGPS=[str2num(comienzoGPS{1,1}), str2num(comienzoGPS{1,2}), str2num(comienzoGPS{1,3}
), str2num(comienzoGPS{1,4}), str2num(comienzoGPS{1,5}), str2num(comienzoGPS{1,6})];
resultados.comienzoGPS=comienzoGPS; % se obtiene el comienzo de la observacion
while (~feof(fid))
linea=fgetl(fid); %siguiente linea con los satelites
if feof(fid)
break;
end
if rem(ObservablesI,5000)==0;
fprintf(['Ordenando... ', num2str(ObservablesI./NumTotalObs.*100), ' %%\n']); %si
hay muchos datos, se va informando del % restante
end
temporal=str2num(linea(1:14));
tiempo=temporal(1); %tiempo
if temporal(2)~-1
satelites=regexp(linea(16:end), ' ', 'split'); %se sacan los satelites que hay
linea=fgetl(fid);% se cargan los observables
if feof(fid)
break;
end
DatoSegundo=str2num(linea);% se pasan a matriz
for satI=1:length(DatoSegundo)
ObservablesI=ObservablesI+1; %se rellena la matriz con el tiempo, sistema,
PRN y observable para ese tiempo
Observables(ObservablesI,:)= [tiempo double(satelites{1,satI}(1))
str2num(satelites{1,satI}(2:end)) (DatoSegundo(satI))];
end
else
linea=fgetl(fid); %igual, pero para un t distinto de 0.
if feof(fid)
break;
end
DatoSegundo=str2num(linea);
for satI=1:length(DatoSegundo)
ObservablesI=ObservablesI+1;
```



```
        Observables(ObservablesI,:)=[tiempo double(satelites{1,satI}(1))
str2num(satelites{1,satI}(2:end)) (DatoSegundo(satI))];
    end
end

end
resultados.data=Observables;
fclose(fid);
end
```

## ANEXO 7. CÓDIGO DE LA FUNCIÓN CONTAROB.S.M

```
%esta función se encarga contar el numero total de observaciones.
function NumTotalObs = ContarObs(archivo)

% filename='1028996252G.ele';
display(['El archivo actual es: ',archivo, '.']);%Mensaje
fid=fopen(archivo); % se abre el archivo
if fid<0 % si no hay ninguno, devuelve un error.
    fprintf(['Error al leer el archivo.\n'])
    NumTotalObs=NaN;
    return;
end
NumTotalObs=0; % se inicia la variable
linea=fgetl(fid); % se obtiene la estructura del archivo, compact2,3...
forMat=linea;
fprintf(['El formato del archivo es: ', forMat, '\n']);
fprintf(['Estructurando datos... \n']);
tic %se inicia un contador de tiempo
linea=fgetl(fid); %siguiente linea del archivo
while (~feof(fid))
    linea=fgetl(fid); %siguiente linea del archivo
    if feof(fid)
        break;
    end
    tmp=str2num(linea(1:14)); %se obtiene la primera parte del la linea
    timetick=tmp(1); % se saca el tiempo
    if tmp(2)~-1
        satnum=tmp(2); %numero de satelites
        linea=fgetl(fid);%siguiente linea, con los datos observables
        if feof(fid)
            break;
        end
        NumTotalObs=NumTotalObs+satnum;
    else
        linea=fgetl(fid);
        if feof(fid)
            break;
        end
        NumTotalObs=NumTotalObs+satnum; %numero de observables en total
    end
end
end
fprintf([num2str(toc), ' segundos usados.\n']);
fclose(fid);
end
```

## ANEXO 8. CÓDIGO DEL SCRIPT AJUSTELSQ.M

```
clear all
close all
fclose all
clc
Galileo=0;
%%se define la estructura de la matriz de estadísticas
EstadisticosGPS(1).Dia=0;
EstadisticosGPS(1).Tiempo=0;
EstadisticosGPS(1).PRN=0;
EstadisticosGPS(1).AmplitudL1=0;
EstadisticosGPS(1).FaseL1=0;
EstadisticosGPS(1).MediaMultipathL1=0;
EstadisticosGPS(1).MediaMultipathL1Norm=0;
EstadisticosGPS(1).MediaL1=0;
EstadisticosGPS(1).MediaL1Norm=0;
EstadisticosGPS(1).AmplitudL2=0;
EstadisticosGPS(1).FaseL2=0;
```

```

EstadisticosGPS(1).MediaMultipathL2=0;
EstadisticosGPS(1).MediaMultipathL2Norm=0;
EstadisticosGPS(1).MediaL2=0;
EstadisticosGPS(1).MediaL2Norm=0;
EstadisticosGPS(1).AmplitudL5=0;
EstadisticosGPS(1).FaseL5=0;
EstadisticosGPS(1).MediaMultipathL5=0;
EstadisticosGPS(1).MediaMultipathL5Norm=0;
EstadisticosGPS(1).MediaL5=0;
EstadisticosGPS(1).MediaL5Norm=0;
EstadisticosGPS(1).DesvL1=0;
EstadisticosGalileo(1).Dia=0;
EstadisticosGalileo(1).Tiempo=0;
EstadisticosGalileo(1).PRN=0;
EstadisticosGalileo(1).AmplitudL1=0;
EstadisticosGalileo(1).FaseL1=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaMultipathL1=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaMultipathL1Norm=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaL1=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaL1Norm=0;
EstadisticosGalileo(1).AmplitudL5=0;
EstadisticosGalileo(1).FaseL5=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaMultipathL5=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaMultipathL5Norm=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaL5=0;
EstadisticosGalileo(1).MediaL5Norm=0;
c=299792458; %velocidad de la luz
L1=c/(1575.42*1000000);%longitud de la L1
L2=c/(122760*1000000);%longitud de la L2
L5=c/(1176.45*1000000);%longitud de la L5
DelimitadorDeRuta= '\'; %Delimitador de la ruta de windows, para linux es /
Loqueseestaprocesando='Playal';
CarpetaRinex='D:\Universidad\TFG\ProgramasSoilMoisture\ArchivosRinex\'; %%Carpeta donde
se encuentran los rinex
CarpetaTrabajo='D:\Universidad\TFG\ProgramasSoilMoisture\'; %Carpeta de salida de las
graficas
ListadoDeRinex=dir([CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,'*.19o']); %Rinex en la carpeta
NumeroDeRinex = length(ListadoDeRinex); %Numero de Archivos Rinex que hay en la carpeta
if NumeroDeRinex==0
    ListadoDeRinex=dir([CarpetaRinex,DelimitadorDeRuta,'*.18o']);
    NumeroDeRinex = length(ListadoDeRinex);
    TEQC='teqc +qc +plots -R -nav '; %Funciones del TEQC
    if Galileo==0
        Sufijos={'18n','18o'}; %Sufijos del TEQC
    else
        Sufijos={'18n','181','18o'};
    end
else
    TEQC=' teqc +qc -R +plots -R -nav '; %Funciones del TEQC
    if Galileo==0
        Sufijos={'19n','19o'}; %Sufijos del TEQC
    else
        Sufijos={'19n','191','19o'};
    end
end
for ij=1:NumeroDeRinex
    split=regexp(ListadoDeRinex(ij).name,'\.','split'); %Separamos el nombre 0888 del
sufjo .19o
    Nombre=split{1}; %Cogemos solo la parte numerica 0888
    dia=str2num(Nombre);
    if Galileo==1
        temp=[CarpetaTrabajo,'Dia',num2str(dia),'\',num2str(dia),Loqueseestaprocesando,'GALILEO',
'.mat'];
        load(temp)
    end

temp=[CarpetaTrabajo,'Dia',num2str(dia),'\',num2str(dia),Loqueseestaprocesando,'GPS','m
at'];
load(temp)
dia=0;
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGPS)
    if length(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1VV)>100
        try
            elevacion=sind(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1VV(:,3)); %%%%%%%%%%%
SNRmultipath=MatrizSNRyPRNGPS(i).L1DVV(:,1);
            [p,f] = plomb(SNRmultipath,elevacion,30,50,'normalized');
            RH = f.*(L1)./2;
            [mx, mi] = max(p);
        end
    end
end

```

```
fhat = f(mi);
funcion=@(x,e)x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*e+x(2)) +x(3);
x0 = [0,0,0];
x = lsqcurvefit(funcion,x0,elevacion,SNRmultipath);
snrLS = x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*elevacion+x(2))+x(3);
amp=x(1)
phase = x(2);
resd = x(3);
MatrizResultadosGPS(i).Dia=ij;
MatrizResultadosGPS(i).DesvL1=std(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1DVV)
MatrizResultadosGPS(i).Tiempo=MatrizSNRyPRNGPS(i).L1db(:,1)
MatrizResultadosGPS(i).PRN=MatrizSNRyPRNGPS(i).PRN;
MatrizResultadosGPS(i).AmplitudL1=amp;
MatrizResultadosGPS(i).FaseL1=phase;
MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL1=mean(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1DVV);

MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL1Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1DVV));
MatrizResultadosGPS(i).MediaL1=mean(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1VV(:,2));

MatrizResultadosGPS(i).MediaL1Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGPS(i).L1VV(:,2)));

catch
MatrizResultadosGPS(i).PRN=99;
MatrizResultadosGPS(i).Dia=ij;
end
else MatrizResultadosGPS(i).PRN=99;
MatrizResultadosGPS(i).Dia=ij;
end

if length(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV)>100
try
elevacion=sind(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,3));
SNRmultipath=MatrizSNRyPRNGPS(i).L2DVV(:,1);
[p,f] = plomb(SNRmultipath,elevacion,30,50);
RH = f.*(L1)./2;
[mx, mi] = max(p);
fhat = f(mi);
funcion=@(x,e)x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*e+x(2)) +x(3);
x0 = [0,0,0];
x = lsqcurvefit(funcion,x0,elevacion,SNRmultipath);
snrLS = x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*elevacion+x(2))+x(3);
amp=x(1)
MatrizResultadosGPS(i).AmplitudL2=amp;
phase = x(2);
MatrizResultadosGPS(i).FaseL2=phase;
resd = x(3);
MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL2=mean(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2DVV);

MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL2Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2DVV));
MatrizResultadosGPS(i).MediaL2=mean(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,2));

MatrizResultadosGPS(i).MediaL2Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGPS(i).L2VV(:,2)));
catch
end
else MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL2=0;
MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL2Norm=0;
MatrizResultadosGPS(i).MediaL2=0;
MatrizResultadosGPS(i).MediaL2Norm=0;
MatrizResultadosGPS(i).AmplitudL2=0;
MatrizResultadosGPS(i).FaseL2=0;
end

if length(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV)>100
try
elevacion=sind(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,3));
SNRmultipath=MatrizSNRyPRNGPS(i).L5DVV(:,1);
[p,f] = plomb(SNRmultipath,elevacion,30,50);
RH = f.*(L1)./2;
[mx, mi] = max(p);
fhat = f(mi);
funcion=@(x,e)x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*e+x(2)) +x(3);
x0 = [0,0,0];
x = lsqcurvefit(funcion,x0,elevacion,SNRmultipath);
snrLS = x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*elevacion+x(2))+x(3);
amp=x(1)
MatrizResultadosGPS(i).AmplitudL5=amp;
```

```
phase = x(2);
MatrizResultadosGPS(i).FaseL5=phase;
resd = x(3);
MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL5=mean(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5DVV);

MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL5Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5DVV));
MatrizResultadosGPS(i).MediaL5=mean(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,2));

MatrizResultadosGPS(i).MediaL5Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGPS(i).L5VV(:,2)));
catch
end
else MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL5=0;
MatrizResultadosGPS(i).MediaMultipathL5Norm=0;
MatrizResultadosGPS(i).MediaL5=0;
MatrizResultadosGPS(i).MediaL5Norm=0;
MatrizResultadosGPS(i).AmplitudL5=0;
MatrizResultadosGPS(i).FaseL5=0;
end
end
if Galileo==1
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV)>100
try
elevacion=sind(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,3));
SNRmultipath=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1DVV(:,1);
[p,f] = plomb(SNRmultipath,elevacion,30,50);
RH = f.*(L1)./2;
[mx, mi] = max(p);
fhat = f(mi);
funcion=@(x,e)x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*e+x(2)) +x(3);
x0 = [0,0,0];
x = lsqcurvefit(funcion,x0,elevacion,SNRmultipath);
snrLS = x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*elevacion+x(2))+x(3);
amp=x(1)
MatrizResultadosGALILEO(i).Dia=ij;
MatrizResultadosGALILEO(i).PRN=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).PRN;
MatrizResultadosGALILEO(i).AmplitudL1=amp;
phase = x(2);
MatrizResultadosGALILEO(i).FaseL1=phase;
resd = x(3);
MatrizResultadosGALILEO(i).Tiempo=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1db(:,1)

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL1=mean(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1DVV);

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL1Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1DVV));

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL1=mean(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,2));

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL1Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L1VV(:,2)));
;

catch
MatrizResultadosGALILEO(i).PRN=99;
MatrizResultadosGALILEO(i).Dia=ij;
end
else MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL1=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL1Norm=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL1=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL1Norm=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).AmplitudL1=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).FaseL1=0;
end
end
for i=1:length(MatrizSNRyPRNGALILEO)
if length(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV)>100
try
elevacion=sind(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,3));
SNRmultipath=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5DVV(:,1);
[p,f] = plomb(SNRmultipath,elevacion,30,50);
RH = f.*(L1)./2;
[mx, mi] = max(p);
fhat = f(mi);
funcion=@(x,e)x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*e+x(2)) +x(3);
x0 = [0,0,0];
x = lsqcurvefit(funcion,x0,elevacion,SNRmultipath);
snrLS = x(1).*cos(2.*pi.*fhat.*elevacion+x(2))+x(3);
```

```
amp=x(1)
MatrizResultadosGALILEO(i).Dia=ij;
MatrizResultadosGALILEO(i).PRN=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).PRN;
MatrizResultadosGALILEO(i).AmplitudL5=amp;
phase = x(2);
MatrizResultadosGALILEO(i).FaseL1=phase;
resd = x(3);
MatrizResultadosGALILEO(i).Tiempo=MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5db(:,1)

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL5=mean(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5DVV);

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL5Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5
DVV));

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL5=mean(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,2));

MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL5Norm=mean(mat2gray(MatrizSNRyPRNGALILEO(i).L5VV(:,2)))
;

    catch
        MatrizResultadosGALILEO(i).PRN=99;
        MatrizResultadosGALILEO(i).Dia=ij;
    end
else MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL5=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).MediaMultipathL5Norm=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL5=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).MediaL5Norm=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).AmplitudL5=0;
MatrizResultadosGALILEO(i).FaseL5=0;
end
end
end
if Galileo==1
    EstadisticosGalileo=[EstadisticosGalileo,MatrizResultadosGALILEO] %Matriz de
resultados de Galileo
end
EstadisticosGPS=[EstadisticosGPS,MatrizResultadosGPS] %Matriz de resultados de GPS
clear MatrizResultadosGALILEO
clear MatrizResultadosGPS
end
```