

## GNSS1. CONDICIONES INICIALES PARA EL PROCESAMIENTO GNSS

**Preparación de datos, análisis de calidad de las observaciones. Órbitas e información del reloj de satélite. Centros de datos, productos del IGS a utilizar, accesos y descargas. Observaciones, constantes, variables, modelos, correcciones y parámetros a estimar. Estrategias de Procesamiento. Análisis de Resultados. Procesamiento científico.**

Cuando se va a determinar una red geodésica en base a observaciones GNSS (Global Navigation Satellite Systems) es fundamental comenzar con la *preparación y análisis de calidad de las observaciones*, para posteriormente realizar un pre-procesamiento de la información, detectando outliers e inconsistencias en los datos. Muchas veces es necesario reducir o cortar datos que no cumplen con los criterios de calidad requeridos para ser tenidos en cuenta como observables en la estimación de parámetros.

Luego, es necesario aplicar un análisis riguroso de la *estrategia de procesamiento* que permita en mayor o menor medida minimizar y/o eliminar la influencia de los *errores que afectan a la señal GNSS*. Ejemplo de esto son los modelos ionosféricos y troposféricos, los modelos de mareas y carga oceánica a adoptar, las correcciones a los centros de fase de las antenas receptoras, la consideración de períodos de maniobras de satélites, etc.

Seleccionadas las observaciones que cumplen con los criterios de calidad y la estrategia de procesamiento se conforma la red de vectores y se procede *a la estimación de parámetros*. En procesamiento con software propietario (comercial), generalmente se estiman únicamente coordenadas. En procesamiento científico se pueden estimar además, parámetros troposféricos, ambigüedades y correcciones a los relojes, entre otros.

Previo a dar comienzo la formación de vectores y al procesamiento de la red, es necesario chequear que el *equipamiento* de las estaciones o receptores que intervienen, este correctamente asignado. Se debe corroborar que el tipo de antena que se informa en el encabezado del archivo de observación sea el real y en lo posible, que la misma este incluida entre las antenas que han sido calibradas por el IGS (International GNSS Service). Esto es fundamental al aplicar la *corrección por excentricidad del centro de fase* de las antenas. De igual manera deben verificarse las alturas de antena correspondientes.

A continuación, se detallan las principales acciones, modelos y correcciones a aplicar en un procesamiento de red geodésica, teniendo en cuenta los estándares internacionales y principalmente el procedimiento llevado a cabo por la red SIRGAS-CON.

### **Análisis de calidad de archivos de observación**

Como se mencionó, una de las primeras tareas a realizar previo al procesamiento, es el análisis de calidad de las observaciones. En el caso de observables GNSS, existen varios programas que han sido diseñados para este fin. En la comunidad científica está ampliamente difundido el software TEQC (<https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>). Este

software se ejecuta por comandos y para analizar los resultados, se debe interpretar un reporte ASCII, carece de entorno gráfico. Es un software libre, y tiene otras funcionalidades como edición (particiones, decimados, uniones, etc.) de archivos de observación RINEX, así como transformación de diferentes formatos. El mismo ha dejado de tener soporte, ya no se realizan actualizaciones, nuevas aplicaciones permiten análisis de calidad más dinámicos y completos. Por ejemplo, el software RTKLib (<https://www.rtklib.com/>), posee un módulo de análisis de calidad de observables en su rutina RTK-PLOT, así como también el software BNC (<https://igs.bkg.bund.de/ntrip/bnc>), ambos de licencia libre. Ambos programas, permiten también editar los archivos de observación RINEX, por ejemplo para sacar un intervalo de observación, cuando sea necesario.

Independientemente del software elegido, es importante analizar:

- 1- Continuidad de los datos, o disponibilidad de cada satélite, detectando saltos de ciclo o cortes de señal (cycle slip o gap).
- 2- Elevación de cada satélite, considerando que los que los que se encuentren cerca del horizonte tendrán mayores errores de refracción.
- 3- Factor de dilución de la precisión PDOP, debiendo ser menor que 5.
- 4- Relación señal-ruido, siendo valores aceptables mayores a 34 dbHz (ver Hoffman-Wellenhof, 2007- pag. 86). Generalmente se grafica la trayectoria de cada satélite (cielo de observación) y se muestra la relación señal-ruido (SNR).
- 5- Multicamino o multipath, siendo esperable valores menores a 0.5 m.

En la Figura 1, se muestra el análisis de calidad con el software BNC, de la estación permanente UYIF, y en la Figura 2, observaciones para el mismo día e intervalo pero desde un receptor ROVER de bajo costo. A la izquierda de ambas figuras se muestra la disponibilidad de observaciones para cada satélite, la elevación, el numero de satélites y el PDOD para el intervalo analizado. A la derecha, se muestran la relación SNR y el multicamino. Se puede apreciar como el Rover presenta mayor cantidad de cortes, ciclos perdidos y menor SNR, aunque posee más cantidad de satélites por ser multi-constelación.

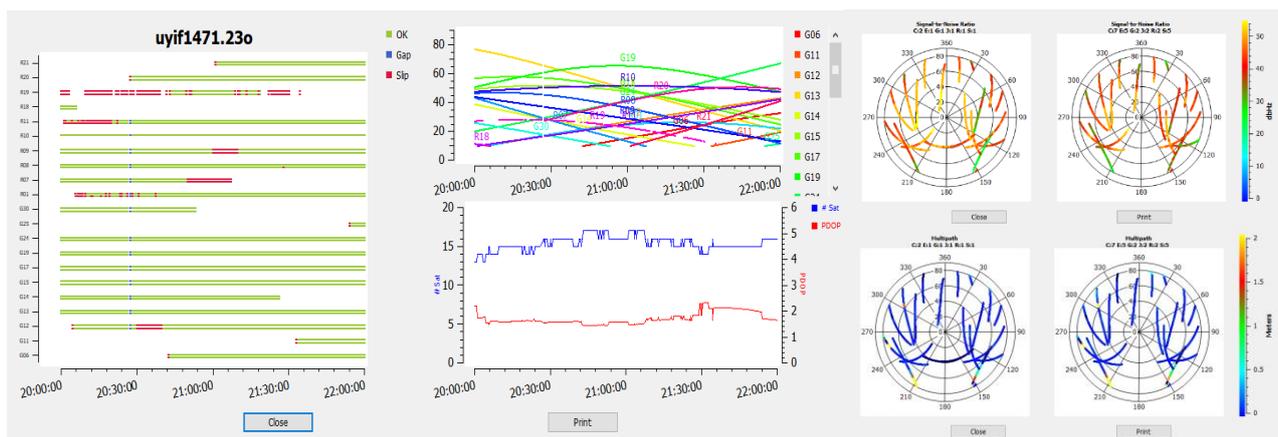


Fig 1: Control de calidad RINEX UYIF

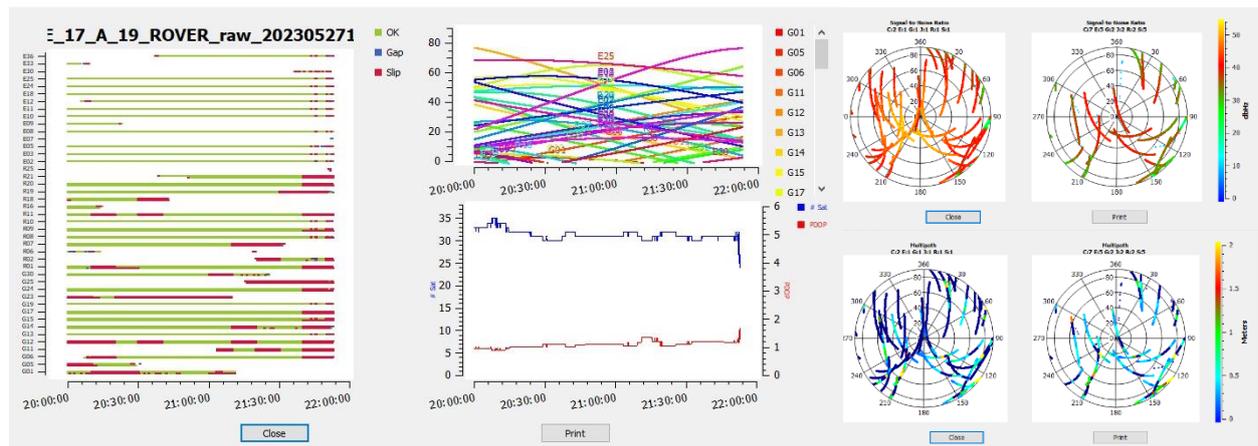


Fig. 2: Control de calidad RINEX Rover.

También es posible guardar un archivo “.log” con los detalles del análisis de calidad para cada satélite (Fig.3). Utiliza el motor de cálculo de TEQC.

```
G: Satellites: 25
G: Signals : 2 1C 2X

G: 1C: Observations : 347662
G: 1C: Slips (file+found): 487 + 112
G: 1C: Gaps : 319
G: 1C: Mean SNR : 42.5
G: 1C: Mean Multipath : 0.80

G: 2X: Observations : 279035
G: 2X: Slips (file+found): 663 + 132
G: 2X: Gaps : 166
G: 2X: Mean SNR : 35.0
G: 2X: Mean Multipath : 0.68

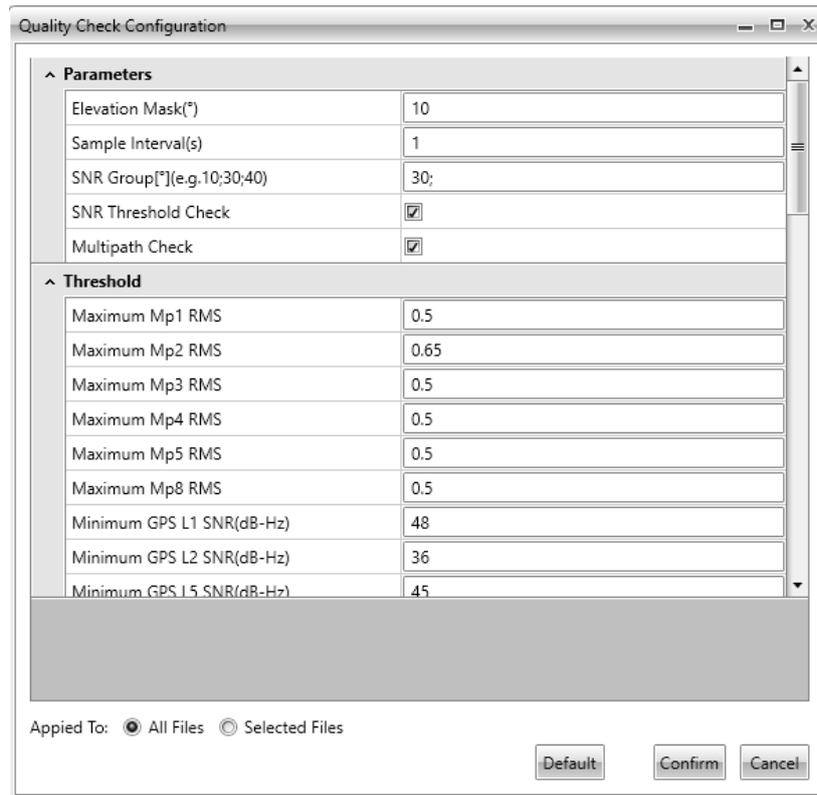
R: Satellites: 22
R: Signals : 2 1C 2C

R: 1C: Observations : 274302
R: 1C: Slips (file+found): 593 + 102
R: 1C: Gaps : 645
R: 1C: Mean SNR : 43.2
R: 1C: Mean Multipath : 0.73

R: 2C: Observations : 230817
R: 2C: Slips (file+found): 456 + 114
R: 2C: Gaps : 329
R: 2C: Mean SNR : 36.3
R: 2C: Mean Multipath : 0.67
```

Fig. 3: Reporte de control de calidad RINEX QC (quality check).

Algunos programas comerciales de procesamiento presentan herramientas para control de calidad de las observaciones. El programa CHC Geomatic Office (CGO), posee el módulo Quality Checking, que permite evaluar el Multicamino en cada frecuencia/observable (MP1,MP2..MP8), la relación señal ruido (SNR1,SNR2,..), la cantidad de saltos de ciclo de cada observable (nSlip) y la disponibilidad de datos (R), en función de la cantidad esperada. Se pueden configurar los parámetros de análisis indicando los límites para cada variable:



**Quality Check Configuration**

**Parameters**

Elevation Mask(°)	10
Sample Interval(s)	1
SNR Group["](e.g.10;30;40)	30;
SNR Threshold Check	<input checked="" type="checkbox"/>
Multipath Check	<input checked="" type="checkbox"/>

**Threshold**

Maximum Mp1 RMS	0.5
Maximum Mp2 RMS	0.65
Maximum Mp3 RMS	0.5
Maximum Mp4 RMS	0.5
Maximum Mp5 RMS	0.5
Maximum Mp8 RMS	0.5
Minimum GPS L1 SNR(dB-Hz)	48
Minimum GPS L2 SNR(dB-Hz)	36
Minimum GPS L5 SNR(dB-Hz)	45

Applied To:  All Files  Selected Files

Default Confirm Cancel

Las observaciones pasan el control (passed) cuando MP y SNR son menores a los límites prefijados, y cuando la disponibilidad de observaciones es mayor al 95% y la cantidad de saltos de ciclos, es menor a 400, estos últimos también se pueden modificar. Caso contrario el control es unpassed. Con el botón "Check" se procede al análisis, y luego se muestran los resultados en el apartado correspondiente:

Index	Station	Check	Usage Rate(%)	MP1(L1/B)	MP2(L2/)	MP3(L5/E)	MP4(E5)[m]	MP5(E6)[m]	nSlip	SNR	SNR(I)	SNI	SN
1	UY UYMO	20 20 passed	95.6515	0.020	0.030	0.000	0.000	0.000	71572	0	0	0	0
2	uy UVIF	20 20 unpassed	94.6311	0.180	0.190	0.000	0.000	0.000	2321	0	0	0	0
3	IV IM-IGM 34 F.ING	20 20 unpassed	87.7458	0.210	0.240	0.000	0.000	0.000	1348	43.55	42.11	0	0

Finalmente se puede generar un reporte más detallado, y guardarlo. Además de los datos mencionados, se muestra el error de reloj estimado para las observaciones analizadas:

**Receiver Clock Difference Info**

Name	Result
No. of Rx clock offsets	6.438086
Total Rx clock drift	0.000059 ms
Rate of Rx clock drift	0.000000 ms/hr

## Efemérides, relojes satelitales y parámetros de orientación terrestres (EOPs)

Para el procesamiento de redes geodésicas, es importante **utilizar las efemérides, relojes y parámetros de orientación terrestre (EOP) más precisos que se disponga**. En relevamientos topogeodésicos, comúnmente solo se utilizan efemérides transmitidas, pero estas no tienen la precisión suficiente que requiere un procesamiento en red.

En los procesamientos rutinarios de SIRGAS se utilizan efemérides precisas finales de los satélites (.sp3), archivos de corrección de relojes (.clk) y los EOP (.erp) calculados por el IGS. Estos archivos son publicados entre 12 y 19 días posteriores a la observación. Esto se debe a que tanto las efemérides como los EOPs son calculados posteriormente a la pasada del satélite a partir de su medición desde estaciones GNSS continuas del IGS.

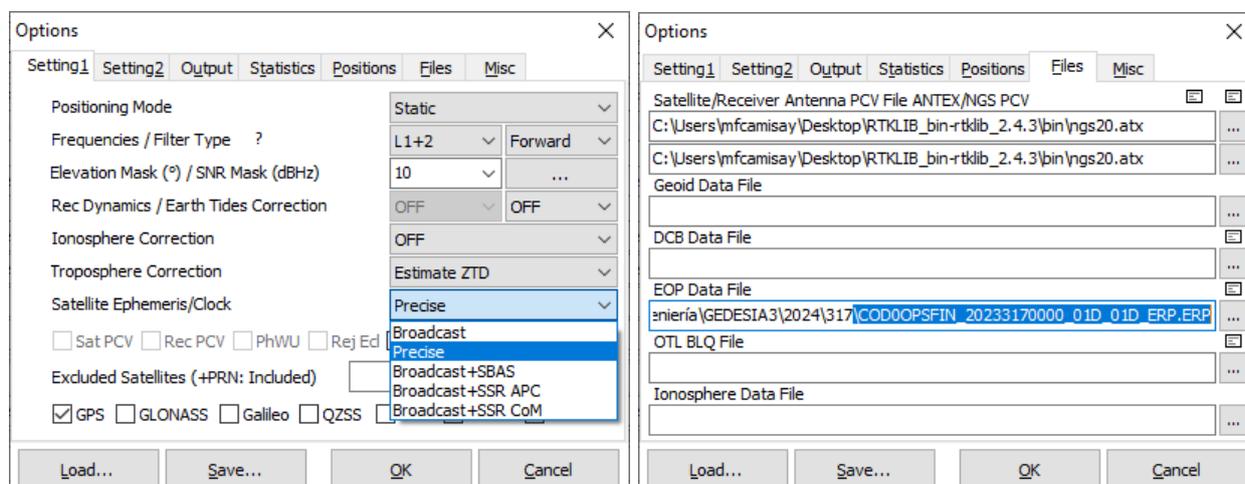
El sistema de referencia en que se encuentran las efemérides, responde a la última definición del sistema terrestre internacional, actualmente es IGS20 (<https://igs.org/products/#about>).

Los archivos de relojes, poseen correcciones a los osciladores de los satélites y de los receptores de las estaciones que forman parte de la red IGS, con un intervalo menor que el que viene en las efemérides precisas, existen actualmente dos tipos de archivos, los que estiman la corrección cada 5 minutos y los que lo hacen cada 30 segundos.

Los EOP (Earth Orientation Parameters) son parámetros de orientación que permiten relacionar el sistema terrestre medio con el sistema celeste medio. Estos parámetros se basan en las series de la Precesión y Nutación, Longitud de Días (LOD) y correcciones a los mismos, que se estiman a partir de la combinación de soluciones de VLBI, SLR, DORIS y GNSS, posibles gracias a la presencia de estaciones que en colocación poseen más de una de estas técnicas. Los mismos son calculados por el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service). El IGS proporciona soluciones de EOP como un servicio del IERS (<http://www.iers.org>).

*Los programas de procesamiento científico, utilizan los tres archivos mencionados (efemérides, relojes y EOP), pero los comerciales, por lo general, permiten únicamente incorporar efemérides precisas.*

El programa de licencia libre RTK-Lib ([www.rtklib.org](http://www.rtklib.org)), permite incorporar los tres archivos mencionados (efemérides precisas, relojes y EOP), debiendo especificarlo en su ventana de configuración como se muestra en la siguiente imagen:



Estos productos IGS están disponibles en directorios semanales en los siguientes centros de datos globales de IGS:

- CDDIS: [https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/wwww\[/reproX\]](https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/wwww[/reproX])
- IGN: [ftp://igs.ign.fr/pub/igs/products/wwww\[/reproX\]](ftp://igs.ign.fr/pub/igs/products/wwww[/reproX])
- BKG: <ftp://igs-ftp.bkg.bund.de/IGS/products/wwww>
- ESA: [ftp://gssc.esa.int/cddis/gnss/products/wwww\[/reproX\]](ftp://gssc.esa.int/cddis/gnss/products/wwww[/reproX])
- KASI: [ftp://nfs.kasi.re.kr/gps/products/wwww\[/reproX\]](ftp://nfs.kasi.re.kr/gps/products/wwww[/reproX])
- SOPAC: [http://garner.ucsd.edu/pub/products/wwww\[/reproX\]](http://garner.ucsd.edu/pub/products/wwww[/reproX])
- Wuhan University: <ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/gps/products/wwww>

Donde wwww equivale a la semana GPS y reproX corresponde al número de campaña de reprocesamiento. Los reprocesamientos tienen diferentes objetivos, como por ejemplo combinar diferentes soluciones. El actual reprocesamiento 3, brinda soluciones combinadas GPS, GALILEO y GLONASS (Masoumi & Moore, 2021) y Geng et al. (2021).

Todos los productos IGS (efemérides, relojes, EOPs) poseen un formato estándar, al igual que los datos RINEX, mayor detalle de estos puede encontrarse en: <https://igs.org/formats-and-standards/>

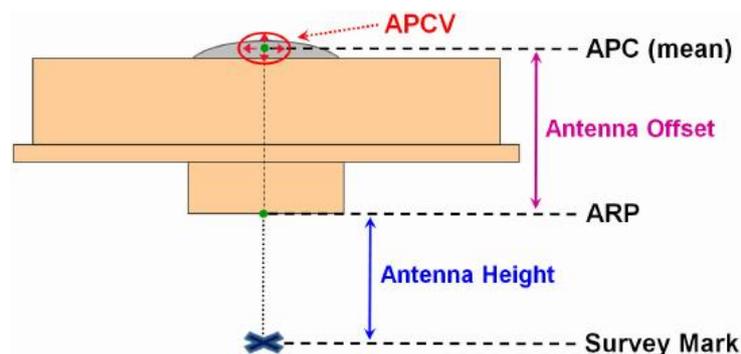
### Tipos de equipamiento y Centro de Fase de las antenas

Como se dijo es indispensable conocer el tipo de receptor y antena de cada equipo antes de proceder al procesamiento. Cuando se trabaja con diferentes marcas y multitud de equipos, es necesario llevar un control riguroso de dicha información. En las estaciones GNSS permanentes, suele suceder que se realizan reemplazos de receptores y/o antenas, y es importante contar con un registro histórico de dichos cambios.

Para realizar estos controles, en las redes geodésicas nacionales o continentales, se consulta un archivo denominado "log\_file" el cual es completado por los administradores y/o instaladores de cada una de las estaciones. El mismo proporciona la totalidad de esta información, detallando las fechas en que fueron modificadas algunas de esas variables.

*El tipo de receptor afecta en la estimación de las correcciones de reloj. Mientras que el tipo de antena es fundamental para poder estimar correctamente las coordenadas, principalmente la altura elipsoidal.*

Las antenas GNSS poseen un punto de referencia (ARP de antena), a donde refieren las coordenadas de control o desde donde se debe medir la altura del instrumento. Sin embargo, la señal es recibida en el centro eléctrico de la misma (APC) y cambia según la portadora (L1/L2). Luego, las antenas son calibradas y es posible conocer la diferencia o corrección al centro de fase de cada modelo de antena (Antenna Offset). Así mismos las antenas de los satélites también son calibradas y debe conocerse su corrección.



Fuente: Janssen, V. et al (2011). CORSnet-NSW: Improving Positioning Infrastructure for New South Wales.

Existen archivos proporcionados por el IGS, que poseen dichas correcciones, tanto para los satélites como para diversas marcas de receptores y tipos de antenas. Además estas correcciones cambian según el marco de referencia al estar relacionados con las coordenadas de los puntos de referencia. De allí que este archivo de corrección a los centros de fase, debe ser actualizado continuamente y debe emplearse aquel que sea pertinente con la época de las observaciones a procesar. Suelen poseer extensión “.atx “ y su nombre refiere al marco, ej *igs20.atx*. Se pueden descargar de: <https://igs.org/wg/antenna/#files>

Los programas de procesamiento por lo general tienen pre-cargados estos archivos de corrección, en caso de no disponerlos, seguramente sea posible cargar un nuevo tipo de antena. Para ello debemos consultar en el archivo atx, o en los sitios de calibración de antena, <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/> , el modelo de la antena que estemos utilizando y cargar manualmente los offset para cada portadora.

### Alturas de antenas

Una vez definido el tipo de antena (modelo), es preciso indicar la altura de antena medida en el momento de observación. Si el receptor se encuentra sobre un pilar, o es una estación permanente, por lo general la altura de antena es 0,00 m ya que la antena se enrosca (centrado forzoso) y la referencia de la antena coincide con la marca física donde se han de calcular las coordenadas.

Situación diferente ocurre cuando instalamos el receptor sobre un trípode con base nivelante, aquí es importantísimo medir la altura del instrumento, desde la referencia de la antena (por lo general la base de la antena) a la marca física que materializa el vértice geodésico.

Dicha altura por lo general es medida de manera inclinada y debe reducirse, conociendo el radio de la antena, a la altura vertical.

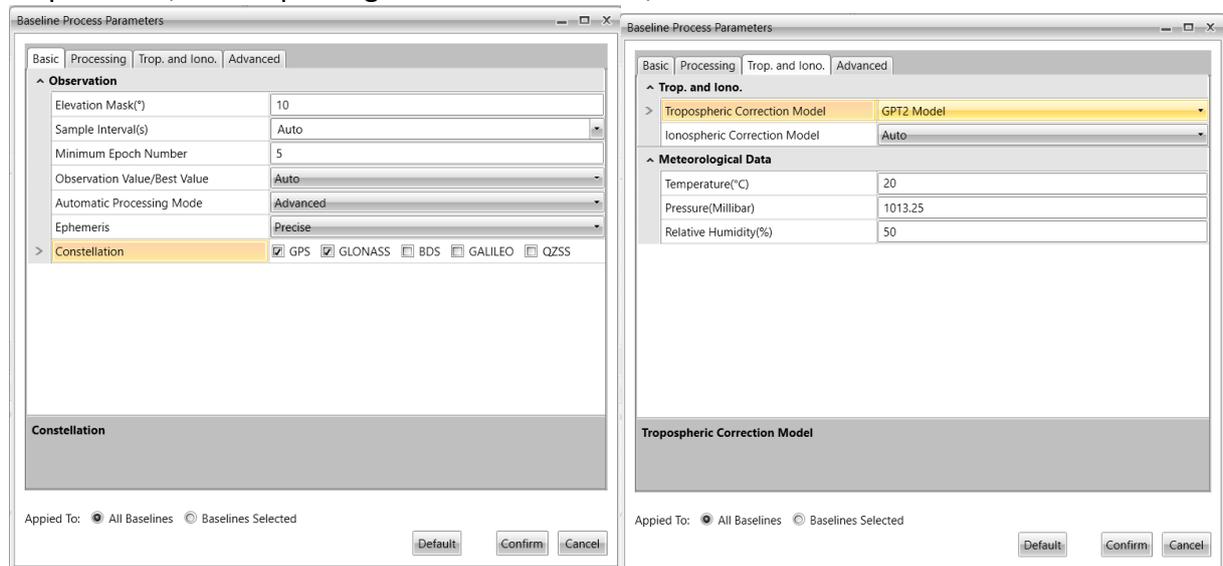


## Estrategia de procesamiento

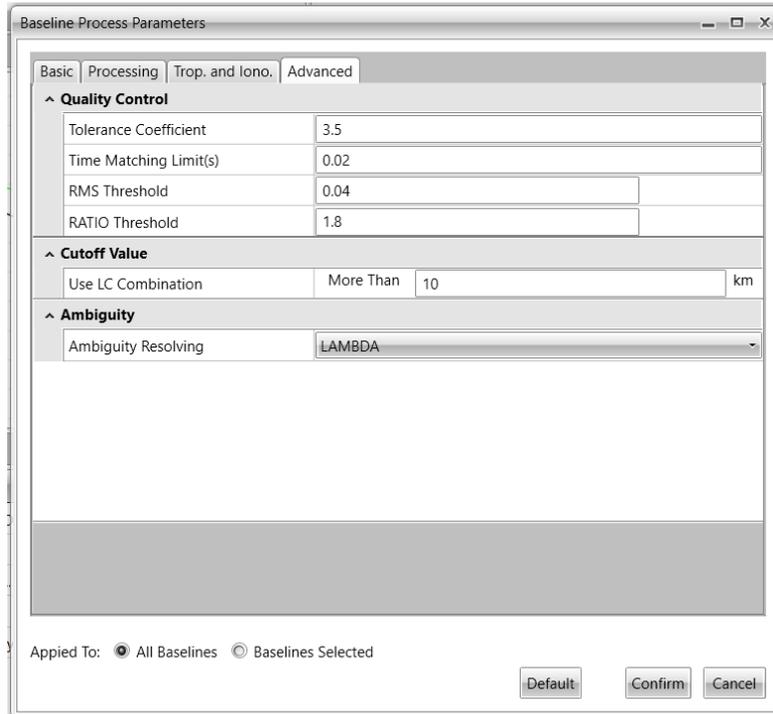
Habiendo considerado los puntos anteriores, estamos en condiciones de comenzar el procesamiento de los datos. En la mayoría de los programas de procesamiento es posible definir algunos *parámetros de procesamiento*, o estrategia. En general se deben definir los modelos atmosféricos (ionosférico y troposférico) a emplear, el tipo de combinación o método de estimación de ambigüedades, así como el tipo de efemérides a utilizar.

En particular, el software CGO (CHC Geomatic Office), permite configurar en la pestaña general el tipo de observable y/o combinación de frecuencias (L1,L1/L2,L5,Ln,Lw,Lc,etc) existiendo la posibilidad de seleccionar automático. También se puede modificar la mascara de elevación, seleccionar las constelaciones a procesar y el tipo de efemérides.

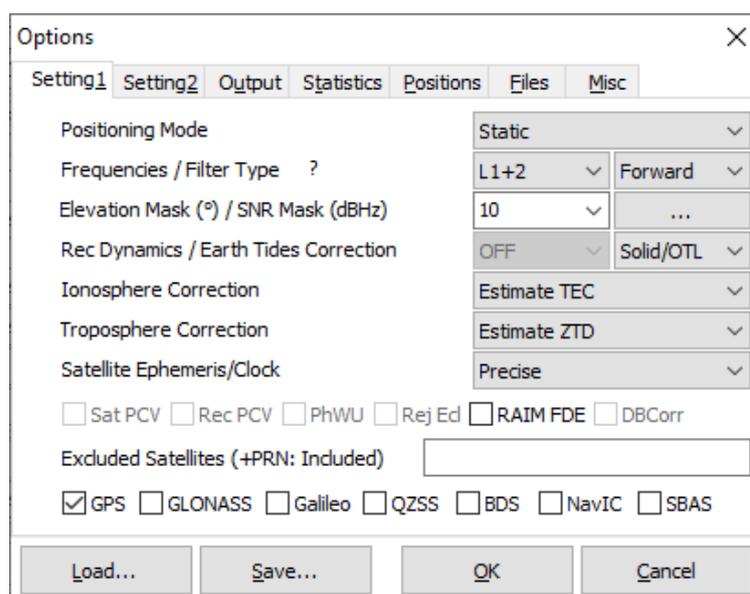
Respecto a los modelos ionosféricos, posee el modo automático o sin modelo, y en relación al troposférico, vienen precargados varios modelos, recomendando utilizar el más actual GPT2.



En la ultima pestaña Avanzados, se especifican los límites o tolerancias para el procesamiento, sirviendo de control de calidad de los resultados de cada vector. El coeficiente de tolerancia, se utiliza como criterio de eliminación de observaciones atípicas, este coeficiente se multiplica por el RMS total y si el error estándar de cada observación es mayor, se elimina. El límite RMS, establece la calidad de conformidad de procesamiento, cuando se supera dicho valor, el vector se muestra "unqualified", por defecto se configura en 0,04 m. Y el RATIO refiere a la relación entre el segundo mínimo y el mínimo RMS, luego de la resolución de ambigüedades. Representa la confiabilidad en la resolución de ambigüedades. El valor por defecto es 1.8, si el valor hallado es **menor**, dicho vector se muestra "unqualified". También se puede especificar la distancia a partir de la cual se utiliza la combinación Lc, libre de ionosfera, y el método de resolución de ambigüedades (lambda u omega).



En el caso del programa RTK-Lib, modulo RTK-Post, es posible seleccionar múltiples parámetros de procesamiento. Por ejemplo los tipo de observables a procesar: L1, L1+2,L1+2+3,L1+2+3+4 (siendo L3 observaciones de Galileo y L4 las de Beidou), así como el tipo de solución en relación del filtro utilizado para resolver el sistema de ecuaciones: Forward, Backward y Combinada. En cuanto a los modelos atmosféricos, permite estimar ambos retardos (TEC, y ZTD), o elegir algún modelo prefijado. Modelo ionosférico: Transmitido, combinación libre de ionosfera. Modelo Troposférico: Saastamoinen. También existe la opción de utilizar modelos de aumentación (SBAS), no disponibles para nuestra región. En la imagen siguiente se muestra la configuración recomendada.



Mas detalles pueden consultarse en el manual de cada software (disponibles en EVA).

### Constantes, modelos y correcciones para el procesamiento GNSS

Además del control de calidad de las observaciones, y los productos y correcciones antes mencionados, es necesario introducir o definir en el procesamiento ciertos modelos correctivos de efectos generales del sistema tierra.

El *modelo de potencial terrestre*, posee principalmente estimaciones del campo de gravedad global, y las variaciones de potencial gravitatorio, el más utilizado en la actualidad es el EGM2008, es una solución combinada de datos derivados del satélite GRACE (ITG-GRACE03S, Mayer-Gürr 2007) y de una base datos global de anomalía de gravedad con una resolución espacial de 5' x 5', (Pavlis et al. 2012).

Otro efecto a tener en cuenta es la respuesta elástica de la corteza terrestre sobre las mareas oceánicas. Por ello es importante utilizar un *modelo de carga oceánica* en los procesamientos GNSS. Para estaciones cercanas a los bordes continentales, el efecto es predominantemente en la dirección radial y puede alcanzar varios centímetros con frecuencias predominantemente semidiurnas y diurnas. Las once componentes de mareas han sido adoptadas por los standards del IERS (McCarthy,1992), actualmente uno de los modelos más utilizados es el FES2014 (<https://os.copernicus.org/articles/17/615/2021/>)

Por otro lado, se debe considerar *el efecto de mareas de la Tierra sólida*, debidas a las atracciones gravitacionales del Sol y de la Luna. El efecto que producen es una variación periódica de las coordenadas instantáneas de las estaciones. La amplitud y período de estas variaciones y la ubicación de la estación determinarán el efecto sobre la posición de las mismas. En las mediciones, el error cometido por ignorar el efecto de mareas será generalmente más grave a medida que se incrementa la longitud del vector medido. Se utilizan modelos definidos por el IERS, actualmente IERS2020.

Otro efecto a considerar es el producido por la *carga que genera la atmósfera* sobre la superficie. El calentamiento de la atmósfera causa que este efecto tenga variaciones debido a los cambios en la presión atmosférica. Es del orden de los milímetros y el modelo que se usa convencionalmente para hacer las correcciones es el de Ray y Ponte (2003). Servicios web para el cálculo de las correcciones son ofrecidos por <http://geophy.uni.lu/ggfc-atmosphere/tide-loading-calculator.html>

Los programas de procesamiento científico permiten configurar estos modelos. En el procesamiento de la red SIRGAS se utilizan los detallados en la siguiente tabla:

Modelo geopotencial terrestre	EGM2008
Modelo de carga oceánica	FES2014
Carga atmosférica	van Dam, T. and R. Ray, 2010
Modelo de mareas terrestres	IERS2000

*Los programas comerciales por lo general no permiten modificar estos modelos. En RTK-Post, es posible configurar un modelo de mareas terrestres y/o carga oceánica, en el apartado de configuración (ver figura anterior Earth Tides Correction). En caso de aplicar corrección por carga oceánica, se debe especificar el archivo correspondiente en la pestaña Files, OTL/BLQ.*

### Conformación de vectores

Habiendo definido los parámetros de procesamiento, e incluido todos los modelos y archivos necesarios para procesamiento de redes geodésicas, se hace necesario armar cuidadosamente el esquema de vectores, manualmente y por sesiones, utilizando los siguientes criterios de preferencia:

- 1) Utilizar la mayor cantidad de observaciones.
- 2) Utilizar los vectores más cortos.
- 3) Dejar los receptores más problemáticos en los extremos de los vectores, teniendo la precaución de que no fuesen considerados como nodos, de manera que posibles problemas de procesamiento que pudiesen afectar a tales vectores no afectasen a los demás vectores de la sesión en cuestión.

Cuando se combinan las observaciones para formar simples y dobles diferencias, las ventajas en cuanto a la simplificación de los modelos son evidentes. Sin embargo, si se dispone de más que dos estaciones observando simultáneamente en una sesión, el modelo estadístico de las pseudo observaciones resultantes, sean simples o dobles diferencias, se complica por la aparición de correlaciones entre ellas. Esto es fácilmente de comprender en el nivel de simples diferencias si se piensa que dos vectores que comparten un vértice y a los que corresponden sendas series de simples diferencias tienen para cada época una observación común.

La mayoría de los programas de procesamiento GNSS comerciales ignoran las correlaciones entre los vectores de una misma sesión y permiten procesar y luego ajustar tantos vectores como combinaciones posibles haya entre las estaciones que miden simultáneamente. Esto causa una falsa sobreabundancia de vectores en el ajuste final y una estimación de errores estadísticamente incorrecta. *En cada sesión diaria, se recomienda considerar n-1 vectores, siendo n el número de receptores por sesión, de manera de utilizar observaciones independientes entre si.*

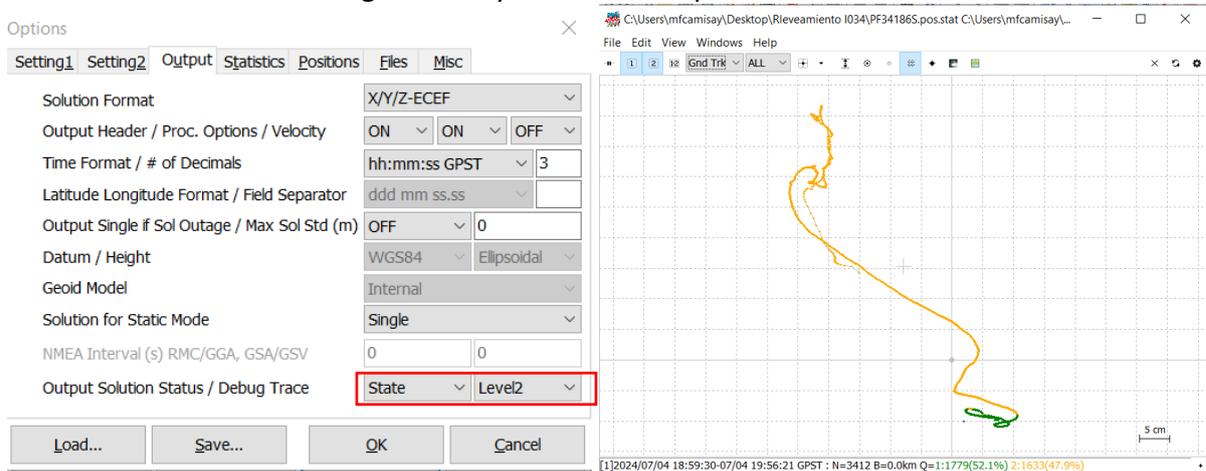
### Análisis de resultados por vector

Procesados los vectores seleccionados, se debe proceder al análisis de resultados. Cada programa de procesamiento tiene sus particularidades respecto a la forma de estimar y mostrar los resultados, pero resulta fundamental revisar:

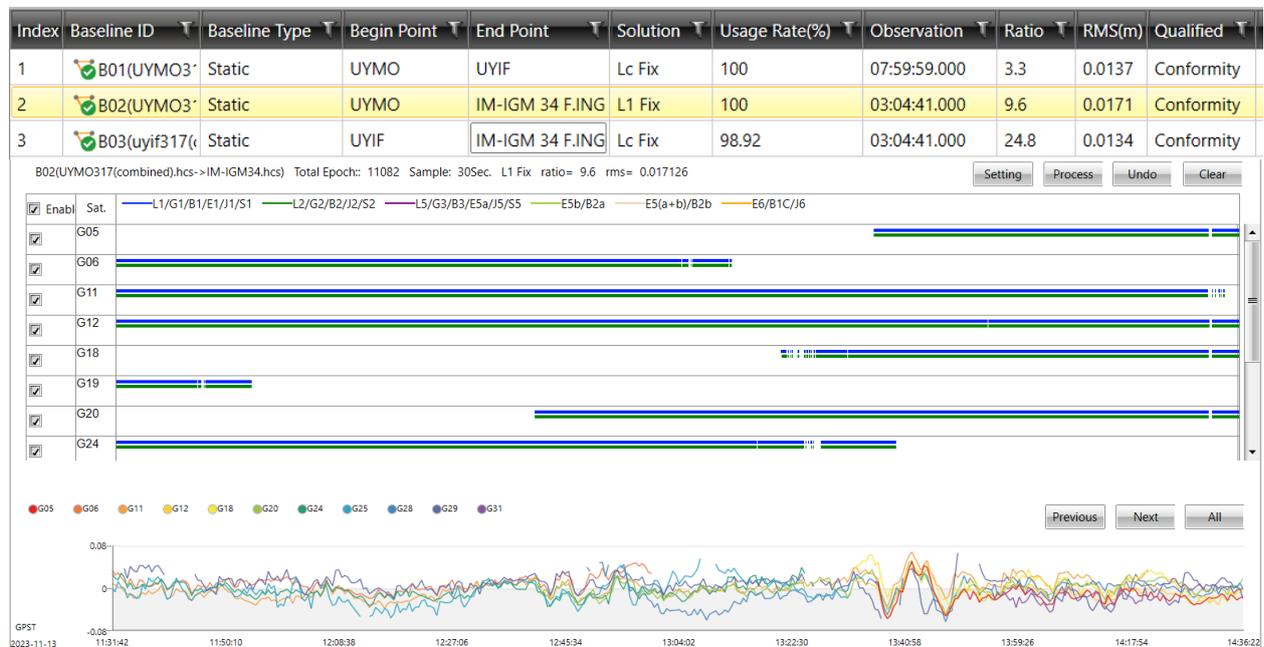
- 1- Tipo de solución: resulta fundamental que para procesamiento geodésico, los vectores tengan resultas las ambigüedades en su totalidad, por lo cual todas las *soluciones deben ser fijas. En caso de soluciones flotantes, se deberán realizar acciones para mejorarlas o desestimar dichos vectores del procesamiento.*
- 2- Estimadores de precisión en las coordenadas estimadas: Generalmente se calculan los desvíos estándar de cada coordenada, y las co-varianzas, se deberá prestar especial atención al nivel de confianza con que se expresan estos estimadores.
- 3- Residuos de las observaciones: Suelen mostrarse en gráficos en función de la escala temporal de observación, pudiendo ser respecto a las dobles o simples diferencias.

En función de las tolerancias prefijadas para la estimación de coordenadas, se pueden realizar algunas acciones para mejorar los resultados del procesamiento. Por ejemplo: detectar los satélites que introducen mayores residuos en la escala temporal de observación, luego es posible excluir dicho/s satélite en todo el vector, o para una ventana de tiempo; aquellos satélites que presentan discontinuidades, o que aparecen muy poco tiempo en el cielo, es recomendable excluirlos para evitar la ocurrencia de saltos de ciclo o baja resolución de ambigüedades. También se puede elevar la máscara o ángulo de elevación, cuando se sospechan problemas de Multicamino.

El programa RTK-Lib, no presenta entorno grafico para analizar resultados, pero se pueden generar reportes estadísticos del procesamiento, con diferentes niveles de detalle, estos se especifican en la pestaña Output de las opciones. Luego con el módulo RTK-Plot, es posible analizar los archivos de posición, y la resolución estadística de cada época, principalmente para evaluar la resolución de ambigüedades y la calidad del posicionamiento.



En CGO, una vez realizado el procesamiento, se califica automáticamente la calidad en función de los parámetros avanzados configurados en los parámetros de procesamiento. En la pestaña GNSS-Baselines, se muestran los resultados principales y también se puede generar el reporte de procesamiento. Para observar sus residuos, se debe abrir la ventana de Diagrama secuencial (botón derecho sobre el vector), como se muestra a continuación.



## Procesamiento Científico

A diferencia de los programas propietarios (comerciales) los programas de procesamiento científico permiten configurar y elegir diferentes modelos y estrategias de procesamiento, incluso realizar una corrección y control de calidad de los datos previa al procesamiento. A continuación, se ejemplifica el procedimiento empleado por SIRGAS en su procesamiento semanal:

### 1. Pre procesamiento de código - Sincronización de relojes

En la observación GNSS es fundamental la precisión y sincronización de los osciladores (relojes) tanto de los receptores como en los satélites.

Los errores de reloj de los satélites pueden modelarse, las efemérides contienen información necesaria para poder corregirlos. Sin embargo el error de reloj del receptor, es una incógnita o parámetro a estimar en el procesamiento.

Para poder trabajar en el posicionamiento diferencial con fase es necesario asegurar que el reloj del receptor cuente con una precisión de 1 microsegundo al momento de realizar el procesamiento de fase. Dado que el error del reloj de algunos receptores puede llegar a un milisegundo es necesario por lo tanto definirlo y corregirlo antes de iniciar el procesamiento con fase. Además, se suele utilizar la combinación de códigos libre del efecto de ionosfera (L3) para la detección temprana de observaciones discordantes (outliers) de código en los archivos de observación. La detección temprana de estos errores permite solucionarlos antes de trabajar con simples diferencias.

### 2. Conformación de vectores – Simples diferencias

Con el objeto de optimizar la estimación de parámetros (coordenadas) eliminando la influencia de una cierta cantidad de sesgamientos que afectan la señal GNSS, se procesa en modo relativo es decir generando vectores entre pares de estaciones que tienen observaciones simultáneas. Estas combinaciones entre las mediciones de fase y código realizadas en cada estación son las denominadas *simples diferencias*. En una red de estaciones (más de dos estaciones de observación simultáneas) es posible realizar distintas combinaciones entre ellas tomando de dos en dos. Las estrategias más utilizadas para realizar estas combinaciones son:

-Máximas observaciones: se realizan todas las combinaciones posibles y sobre ellas se contabiliza la cantidad de observaciones utilizadas, seleccionando aquellas combinaciones linealmente independientes que aprovechan la mayor cantidad de observaciones. En este caso es posible especificar un máximo y/o mínimo en la longitud del vector a seleccionar.

-Shortest: selecciona los vectores más cortos posibles, siempre que las observaciones de todas las estaciones cubran el mismo intervalo de tiempo.

-Star: todos los vectores a seleccionar parten de un mismo punto de referencia definido por el usuario.

-Definido: el vector debe ser definido completamente por el usuario, eligiendo el vector a crear, es decir debe elegirse las simples diferencias a generar.

### 3. Pre procesamiento de fase – Triples diferencias

Sobre los vectores conformados de simples diferencias de fase se realiza el denominado pre-procesamiento de fase. En el mismo se trata de detectar los ciclos perdidos o bien la necesidad de resolver una nueva ambigüedad que serán luego estimadas como parámetros en el siguiente paso. En esta etapa se sigue trabajando sobre la combinación lineal de frecuencias libre de ionósfera (L3), y la resolución de ciclos perdidos se plantea en una solución de triples diferencias de fase de la combinación L3.

Esta etapa es fundamental en el procesamiento y marca una de las diferencias sustanciales que distinguen al procesamiento científico del que no lo es. En los procesamientos que habitualmente se realizan con programa comerciales, el profesional no tiene participación en esta etapa y el programa trabaja en forma cerrada resolviendo los problemas, en algunos casos desfavorablemente o eliminando gran cantidad de datos (extraído de Mackern 2003).

#### **4. Estimación de parámetros – Dobles diferencias de fase**

La estimación de parámetros se basa en el ajuste por mínimos cuadrados, utilizando para la estimación, simples y dobles diferencias de fase. En esta etapa se pre-eliminan algunos parámetros para disminuir el número de incógnitas en el sistema de *ecuaciones normales*.

Respecto a los parámetros de posicionamiento resultan ser correcciones a las coordenadas a priori de cada punto estación. También se estiman parámetros troposféricos y ambigüedades.

*A continuación, se procede al ajuste diario y semanal, como así también la introducción del marco de referencia que serán revisados en los próximos apuntes.*