

***Universidad Nacional de Cuyo***

***Tesis Doctoral***

***Desarrollo de un sistema automático de procesamiento  
diferencial GNSS, orientado a receptores  
monofrecuencia, en aplicaciones catastrales y de  
ingeniería***

***Hernán Alvis Rojas***

***2013***

***Director: Dr. Mauricio Gende***

***Codirector: Dra. María Virginia Mackern***

## Resumen

### ***Desarrollo de un sistema automático de procesamiento diferencial GNSS, orientado a receptores monofrecuencia, en aplicaciones catastrales y de ingeniería***

Inicialmente en la Argentina los usuarios de la tecnología GPS eran entes públicos, universidades o grandes empresas. A medida que esta tecnología fue desarrollándose sus costos disminuían y el equipamiento mejoraba o se diversificaba. Consecuentemente un mayor número de personas comenzó a utilizarla en campos tan diversos como trabajos científicos, de ingeniería, de georreferenciación, catastrales, etc. Con el tiempo las instituciones y los grandes emprendimientos económicos pasaron a poseer receptores geodésicos propios fijos que materializan un marco de referencia activo mediante estaciones de medición continua (o estaciones permanentes) y los usuarios de la tecnología GPS pasaron a ser mayoritariamente profesionales necesitados de georreferenciación con receptores GPS monofrecuencia.

En el escenario convencional de los relevamientos GPS, basados en el post-procesamiento, los usuarios deben comprar al menos dos receptores GPS, así como los softwares asociados de procesamiento. Esto no solo implica un costo de capital significativo, sino también que la operación de campo incluye costos adicionales de logística debido a la necesidad de operar los receptores base y móvil. En la etapa de procesamiento, los softwares comerciales, que acompañan a los receptores, cuentan con una configuración por defecto. Esta etapa, tiene aspectos que exige un trabajo minucioso para que cada parte del procesamiento esté adecuada a las mediciones realizadas (especialmente para aquellos que tienen poca experiencia con la tecnología GPS). Además en varios trabajos, es necesario transformar el tipo de coordenadas el marco de referencia y la época de observación según el tipo de trabajo realizado.

En la actualidad, el número de usuarios de la tecnología GPS es creciente y existe una demanda creciente de necesidad de contar con respuestas adecuadas a los distintos tipos de tareas que utilizan GPS, con poco tiempo para el procesamiento y contando con buenas precisiones en los resultados.

La existencia de Estaciones Permanentes GPS cuya red se va ampliando no sólo en número sino en una mejor densificación, favorecieron a distintos sectores que aprovechando la disponibilidad de los datos, pudieron realizar más relevamientos con menores costos y en menor tiempo. Pero la sola existencia de datos disponibles en forma pública y gratuita no resuelve el problema del posicionamiento ya que los mismos deben

ser procesados. Para ello hay que contar tanto con los programas adecuados como con los conocimientos necesarios para realizar los cálculos. Actualmente, el número de usuarios de la tecnología GPS es creciente y existe una demanda insatisfecha: la de contar con un servicio que en forma automática provea coordenadas precisas a partir de datos que los usuarios recolectan

En esta Tesis se presenta un desarrollo original que brinda un servicio de procesamiento gratuito vía Web. Este producto tecnológico se ha desarrollado de manera tal de ofrecer una alternativa de procesamiento destinada a una diversidad de usuarios, utilizando uno de los mejores softwares científicos para estas tareas de postprocesamiento, Bernese GNSS software. Con esta implementación, nuestro país contaría la posibilidad de ofrecer un servicio aún no desarrollado ni en el país ni en la región, el cual estaría a la altura de aquellos servicios similares desarrollados en EEUU y Australia. Cabe mencionar que dicho servicio ofrecería la ventaja por sobre aquellos existentes de procesar datos observacionales de receptores monofrecuencia, los más utilizados en nuestra región, diferenciándose notablemente de los otros servicios que apuntan a usuarios con posibilidades económicas superiores. Este trabajo explora además la posibilidad de utilizar mapas de contenido total de electrones para minimizar el sesgamiento que la ionosfera induce en el posicionamiento simple frecuencia.

Un hecho significativo que otorga un valor particular a este trabajo es la exigencia de georreferenciar parcelas, tanto urbanas como rurales, toda vez que la mensura respectiva haya de ser registrada en el organismo catastral correspondiente a la provincia y/o municipalidad, como así mismo para la ubicación de pertenencias mineras. Este tipo de medidas de a poco se va extendiendo a todo el país y a futuro todos los trabajos que requieran georreferenciación, es trascendente tener acceso a un sistema de procesamiento como el que se ha elaborado.

El trabajo está realizado en el contexto de una demanda creciente de parte del Estado para georreferenciar los trabajos catastrales rurales. Presentado esta Tesis una solución concreta en el ámbito Ingeniería en Agrimensura.

En el capítulo I, "Antecedentes de la evolución de la tecnología GPS. Evolución del posicionamiento con fines catastrales", se presenta un racconto histórico hasta llegar a la situación actual tanto a nivel mundial como regional y nacional.

En el capítulo II, "Sistema de Posicionamiento GPS," se explica el funcionamiento del Sistema de Posicionamiento GPS, sus principales características; los errores o sesgamientos de la señal, las ecuaciones de observación y las combinaciones lineales de los observables GPS. También se presenta las componentes del sistema GPS, haciendo especial hincapié en el segmento del usuario según los diferentes tipos de receptores GPS.

El capítulo III, "Técnicas de Posicionamiento GNSS, su evolución", Se presenta las distintas técnicas de posicionamiento, describiendo sus características. Se hace especial

hincapié en la evolución del posicionamiento diferencial estático utilizando estaciones de referencia de medición continua (EP GPS), como así mismo lo referente al posicionamiento diferencial a tiempo real utilizando NTRIP.

El capítulo IV, “El procesamiento GNSS y el software Bernese”, se ponen de relieve las principales características del software científico Bernese, software utilizado en esta tesis. Se presenta una descripción de su estructura y las aplicaciones que ofrece, utilizadas en este trabajo.

En el capítulo V, “Diseño y Desarrollo de un Sistema Automático de Procesamiento”, se explican cada una de las rutinas diseñadas para poder ejecutar este sistema automático de procesamiento y también se explyra respecto al orden de ejecución y las consideraciones tenidas en cuenta para cada una de ellas.

El capítulo VI, “Validación del Sistema PAB Desarrollado y discusión de su impacto”, se describen y explican cada una de las acciones realizadas para validar el sistema desarrollado. Así mismo están las correspondientes consideraciones para la validación. Al final del capítulo se explica los resultados obtenidos al aplicar modelo de corrección ionosférica.

En el capítulo VII, “Conclusiones”, se expone las conclusiones a las que se ha arribado en la experiencia de desarrollo de este sistema de procesamiento. También se pone de relieve el posible impacto de este trabajo en distintas áreas de trabajo que utilicen tecnología GPS.

## Indice

### Capítulo I

1.1 Introducción	1
1.2 Evolución de la Geodesia en Argentina y los sistemas de referencia globales	2
1.3 Contexto específico en relación a trabajo de esta Tesis	5

### Capítulo II

2.1 Sistema de Posicionamiento GPS	6
2.2 Principio de posicionamiento Satelital	7
2.3 Observable GPS	8
2.3.1 La señal GPS	9
2.3.2 El Tiempo GPS	10
2.4 Medición	10
2.4.1 Medición de código	10
2.4.2 Medición de fase	11
2.5 Errores en las observaciones GPS	11
2.6 Errores	12
2.6.1 Error de órbita del satélite	12
2.6.2 Error en las Efémerides Transmitidas y relojes	12
2.6.3 Error en la medición del Tiempo GPS	14
2.6.4 Multipath	14
2.6.5 Excentricidad del centro de Fase de Antena	15
2.6.6 Errores sobre la propagación de la señal	18
2.6.6.1 Refracción Troposferica	18
2.6.6.2 Refracción Ionosferica	20
2.7 Las Ecuaciones de observación	22
2.8 Errores de medición	23
2.9 Combinaciones lineales de observables	24
2.9.1 Combinación lineal libre de ionosfera (L3)	27
2.9.2 Combinación lineal libre de geometría	27
2.9.3 Combinación lineal wide-lane	28
2.9.4 Combinación lineal Melbourne-Wüben	28
2.10 Segmento espacial GPS SPS (STANDARD POSITIONING SERVICE) SIS (SIGNAL IN SPACE) PS (PERFORMANCE STANDARD)	29
2.11 Segmento de Control	30
2.12 Segmento Usuario	33
2.12.1 Tipo de receptores	33

2.12.1.1 Navegadores	34
2.12.1.2 Topográficos y Geodésicos	35
<b>Capítulo III</b>	
3.1 Técnicas de posicionamiento	36
3.1.1 Posicionamiento Puntual	36
3.1.2 Posicionamiento Absoluto	37
3.1.3 Posicionamiento por punto preciso	38
3.1.4 Posicionamiento relativo	39
3.1.5 Posicionamiento relativo estático	40
3.1.6 Posicionamiento relativo estático-rápido	40
3.1.7 Posicionamiento relativo semicinemático (stop and go)	41
3.1.8 Posicionamiento relativo cinemático	41
3.2 Posicionamiento Diferencial Postproceso	41
3.2.1 Estación de referencia de medición continua ( EP GPS)	41
3.2.2 Red de Estaciones permanentes	42
3.3 Evolución de las Estaciones Permanentes GPS en la región	44
3.3.1 SIRGAS-CON	44
3.3.2 Argentina	46
3.4 POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL A TIEMPO REAL	49
3.4.1 NTRIP (Network Transportation of RTCM vía Internet Protocol)	50
3.4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE NTRIP	51
3.4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA	51
3.4.3.1 NTRIP SOURCE	51
3.4.3.2 NTRIP SERVER	52
3.4.3.3 NTRIP CASTER	52
3.4.3.4 NTRIP CLIENT	53
3.5 Desarrollo y evolución de NTRIP en Argentina	54
3.6 Sistemas de aumentación (SBAS)	55
3.6.1 Estaciones de Referencia de Área Amplia ( WRS)	57
3.6.2 Estaciones Maestras de Área Amplia (WMS)	57
3.6.3 Estaciones de Comunicaciones (GES)	57
<b>Capítulo IV SOFTWARE DE PROCESAMIENTO GNSS: BERNESE</b>	
4.1 Introducción	59
4.2 Características generales de software de procesamiento BERNESE	60
4.3 Formas de trabajo	62
4.4 Estructura del programa	63

4.5 Estructura de directorios de Bernese	66
4.6 Conclusiones	71
<b>Capítulo V DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PROCESAMIENTO</b>	
5.1 Introducción	72
5.2 Recepción del pedido de procesamiento	73
5.3 Procesamiento automático Bernese (PAB)	74
5.4 Bernese_auto_processing.pl	77
5.4.1 Módulo de preprocesamiento “Bernese_pre_processing.pl”	78
5.4.2 Módulo de procesamiento “Bernese_processing.pl”	82
5.4.2.1 Rutinas de automatización de módulos de Bernese	86
5.4.3 Módulo de envío de resultados	90
5.5 Conclusiones	92
<b>Capítulo VI Validación del Sistema Desarrollado (PAB) y discusión de su impacto</b>	
6.1 Introducción	94
6.2 Comparación con otras posibilidades de procesamiento	95
6.3 Comprobación del funcionamiento del PAB con distintos tipos de observaciones	96
6.4 Precisión teórica del posicionamiento diferencial con postproceso	98
6.5 Análisis de las precisiones obtenidas con PAB mediante experiencias realizadas de posicionamiento diferencial	100
6.6 Resultados	103
6.7 Análisis de resultados	105
6.7.1 Resultados del Procesamiento en PAB con L3	105
6.7.2 Resultados del Procesamiento en PAB con L1	107
6.8 El Procesamiento Automático Bernese y el retardo ionosferico	109
6.8.1 Aplicación de modelo ionosferico	112
6.9 Conclusiones	115
<b>Capítulo VII Conclusiones</b>	
7.1. Introducción	117
7.2. Sinergia del PAB con otros servicios en la región	120
7.3. La Georreferenciación en el marco de los Catastros Territoriales y la aplicación del PAB	121
7.4. Influencia de las correcciones ionosféricas y la aplicación del PAB sobre observaciones monofrecuencias	124
7.5. Trabajos a futuro	123
7.6. Conclusiones	125

Anexo N° 1	127
Anexo N° 2	136
Anexo N° 3	142
Anexo N° 4	154
Anexo N° 5	160
Referencias	162
Glosario	166

# ANTECEDENTES DE LA EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA GPS

## 1.1 Introducción

Hace ya más de 50 años comenzaban las primeras experiencias de la Geodesia Satelitaria, primero con cámaras fotográficas y luego con el sistema TRANSIT también conocido como NAVSAT (Navigation Satellite System), que daban sustento teórico y práctico a los sistemas de posicionamiento tal cual se conoce hoy en día.

En la década del 70 y en forma paralela dos sistemas de posicionamiento: GPS (Global Positioning System) y GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema o Global Navigation Satellite System) se desarrollaron en el contexto de la llamada Guerra Fría con fines militares. Posteriormente, dos hechos fortuitos: el ataque con misiles a un avión comercial con 269 civiles a bordo que invadió por error el espacio aéreo soviético en 1983 y la explosión del transbordador Challenger en 1985 ayudaron a darle mayor espacio al uso civil de estos sistemas. El primer evento mostró una de las utilidades de tener un sistema de navegación satelital a bordo de un avión, mientras que el segundo retrasó el lanzamiento de algunos satélites GPS y permitió realizar más experimentos científicos con GPS antes de que el sistema pensado en términos bélicos estuviera completamente operacional.

Con el paso del tiempo instituciones gubernamentales, del ámbito científico, y del sector privado, encontraron novedosas aplicaciones que fueron determinantes para que esta tecnología fuera adoptada a gran escala para fines civiles. El sistema GPS que empezó estando en manos del Departamento de Defensa de los EE.UU (DoD) pasó a estar coordinado por este Departamento y el de Transporte. Contar con un sistema de posicionamiento propio pasó a transformarse en una necesidad estratégica, razón por la cual la Unión Europea y países como China, India, Japón comenzaron a desarrollar sus propios proyectos, que actualmente presentan diferentes grados de maduración

El posicionamiento diferencial a tiempo real surge como una segunda alternativa. En este caso si bien se ha logrado mejorar la producción, se ha incrementado el costo de los receptores y requiere indefectiblemente de una comunicación que originariamente se estableció por radioenlace, hoy se utilizan varias alternativas. Un método alternativo y relativamente reciente es el posicionamiento puntual preciso,

que elimina la necesidad de un segundo receptor pero requiere el uso de los receptores de más alto costo y conexión a la red de internet de algún enlace de radio si se quiere trabajar a tiempo real.

Tanto el método diferencial como el puntual preciso se ven altamente beneficiados si existe una red de estaciones GPS que funcionan de manera continua observando las 24 horas, ya que con la misma se evita la necesidad de un segundo receptor GPS para el método diferencial y se pueden calcular órbitas y relojes precisos para el segundo método. Aún así queda pendiente la tarea de procesar los datos, para lo cual siempre se requiere un programa específico y los conocimientos para su uso. Instituciones de países como EEUU, Australia, Canadá desarrollaron programas que, apoyados en la existencia de estaciones de medición continua, permiten ofrecer el servicio de procesamiento de observaciones, realizadas para distintos usuarios. Estos programas son programas de procesamiento vía Internet u "ON LINE".

Se pueden diferenciar dos tipos de servicios "ON LINE". Están aquellos que realizan el procesamiento diferencial, pero sólo para observaciones de receptores doble frecuencia. Este es el caso del servicio AusPos (Australia). También existen servicios que utilizan la técnica conocida como PPP (Precise Point Positioning) de Canadá. Mediante el software Gypsy (Jet Propulsion Laboratory) se aprovecha la medición de código en receptores de simple y doble frecuencia. El sector de los usuarios de equipos monofrecuencia no está cubierto por estos servicios. No hay antecedentes a nivel nacional, regional y mundial, que brinde un servicio de procesamiento "ON LINE" con estas características.

## **1.2 Evolución de la Geodesia en Argentina y los sistemas de referencia globales**

En nuestro país, desde la creación del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), hoy Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.), se impulsó el desarrollo de la Geodesia y por consiguiente las tareas asociadas a esta ciencia. Con la sanción de la ley conocida como Ley de la Carta, ley Nº 12.696 de 1941, se consolidaron las actividades para llevar a cabo la consolidación de una red de referencia fundamental que sirvieran como marco de referencia.

Uno de los puntos más importantes en la actividad geodésica fue la medición, cálculo y ajuste de la red que correspondía al sistema de referencia horizontal denominado Campo Inchauspe. Esto permitió a todas las provincias argentinas tener elementos confiables en sus territorios para georreferenciar parcelas, obras, confeccionar cartografía, etc. Esta red estaba determinada por puntos amojonados en

el terreno, que eran parte de redes de primer, segundo y/o tercer orden. Además cada provincia hizo lo propio en su territorio para aumentar la cantidad de puntos (marcas catastrales) que permitieran vincularse al sistema geodésico nacional.

A la par se fue desarrollando las mediciones correspondientes a la red de nivelación de precisión para contar con un sistema de referencia vertical. Esta red se desarrolló en forma separada a la red horizontal. Los puntos de ella se ubicaban en zonas cercanas a rutas y caminos considerando un fácil acceso. En cambio los correspondientes a la red horizontal tenían como exigencia la intervisibilidad entre al menos tres puntos alrededor y estos, dependiendo del orden de la red, estaban a una distancia que no superaban, en general los 30 km entre ellos.

La aparición en escena de la tecnología GPS dio lugar a un brusco cambio de paradigma en cuanto a la forma de realizar las vinculaciones al marco de referencia nacional y/o provincial, al poder trabajar con distancias mayores, sin necesidad de intervisibilidad, en cualquier momento y con la única condición de “cielo limpio” para poder realizar las observaciones GPS.

A principios de la década de 1990, se comenzaban las tareas para incorporar al país en el concierto de las naciones que contaban con una red geodésica fundamental medida con esta nueva tecnología. El proyecto POSGAR (Posiciones Geodésicas Argentinas) dio respuesta a los cambios que la nueva tecnología planteaba [Rodríguez, 1989] [Brunini et al., 1991], [Rodríguez et al., 1991]. Posteriormente el proyecto PASMA (Proyecto de Asistencia al Sector Minero Argentino) [Rodríguez, 1989] [Brunini et al., 1991], [Rodríguez et al., 1991] contribuyó aún más a contar con puntos que eran parte de la red PASMA, que también fueron medidos con esta técnica.

En ambos proyectos se utilizó el concepto de marcas monumentadas con coordenadas cuyas precisiones eran superiores a las que tenían los puntos del IGM al medir y compensar el Sistema Campo Inchauspe y con una buena accesibilidad al lugar de ubicación de las mismas. Pero a la par comenzaron a ser utilizados receptores que operaban de forma continua. También proyectos como CAP (Central Andes Project), SAGA (South American Geodetic Activities) permitieron que universidades argentinas participaran de estos proyectos y con esto se fue generando la posibilidad de contar con puntos de referencia que con el tiempo pasaron a ser estaciones permanentes GPS (EP GPS).

Cada provincia argentina desde los inicios de los Catastros provinciales, en la década del 50, estableció su propio sistema de referencia coincidente, en términos generales, con el sistema nacional. Con el correr de los años, cada provincia, en función de las necesidades propias, fue también realizando trabajos geodésicos que en varios casos llevaron a tener sistemas de referencia distintos al sistema nacional. Con

POSGAR 94 y aún más con la tarea realizada por el IGM, ha sido posible que todas las provincias puedan adoptar, para su cartografía, POSGAR 2007.

Antes de POSGAR, en obras lineales y/o superficiales que necesitaban ser georreferenciadas entre provincias colindantes, existía un doble juego de coordenadas, una por cada sistema de referencia. Se podría decir que las coordenadas no reflejaban el continuo territorial, aún utilizando técnica GPS.

Para mantener actualizada la cartografía provincial, responsabilidad de los catastros provinciales, las reparticiones han comenzado a exigir a los profesionales la necesidad de vincular sus trabajos a puntos que tengan coordenadas en estos sistemas. Para ello, en algunos casos, los profesionales utilizan marcas catastrales, sobre todo en las zonas urbanas. En otros casos utilizan la técnica GPS, estacionándose en una marca o utilizan los datos de EP GPS más cercana y los procesan con los propios, adoptando a la EP como punto base.

Los organismos catastrales de varias provincias solicitan a los profesionales de la agrimensura copia de los archivos de observación GPS, para ser procesados por los profesionales de la repartición. Esto conlleva a que una misma tarea, la determinación de las coordenadas de los puntos de relevamiento, sean calculadas dos veces. Una por el profesional y otra por Catastro. Esta situación, tiene además la posibilidad de generar diferencias entre lo calculado por uno y otra dada la diferencia de configuración del software de procesamiento.

Por otra parte, en el desarrollo de las EP GPS, participaron, principalmente el Instituto Geográfico Militar, universidades, catastros provinciales, municipalidades e institutos de investigación, por citar algunos. Cada uno de estos entes, fueron en primer lugar brindando el acceso a los datos diarios, luego a una mayor continuidad en ese acceso y una mayor capacitación del personal a cargo de las mismas.

En este proceso hay un hito importante a remarcar que fueron los Talleres de Estaciones Permanentes GPS, que entre el 2004 y el 2009, se fueron realizando en distintos lugares del país y permitió afianzar y acrecentar este desarrollo. A la sombra de estas Talleres nacieron grupos de trabajo que fueron dando servicios a los administradores de EP GPS, y que tenían en cuenta la posibilidad de brindar servicios a usuarios gubernamentales, privados, universitarios y científicos. Entre estos grupos uno de los puntales es el grupo GESA (grupo de Geodesia Satelitaria) de la Universidad Nacional de La Plata. Una de las tantas tareas que realizó, fue la de ser el primer centro de cálculo de la Red SIRGAS en Argentina y también generó la aparición del Centro de Procesamiento de Ingeniería, en Mendoza, Argentina (CIMA) actualmente centro de cálculo de la red SIRGAS. Se debe mencionar así mismo el trabajo continuo desde los inicios de la red de EP GPS, del grupo de trabajo de la Universidad Nacional de Rosario, que hoy en día brinda servicios de datos, capacitación profesional, teniendo en cuenta

tanto relevamientos estáticos como cinemáticos. El paso siguiente en este desarrollo demanda el servicio de posicionamiento "ON LINE" en la región. Se presentaron trabajos relativos a este tema en la XXIV reunión de la Asociación Argentina de Geofísica y Geodesia ("Procesamiento de observaciones crudas GNSS vía internet"), en la Asamblea Internacional de Geodesia ("Towards an Argentinean Online GPS Processing Service") y también en el XI Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de Agrimensura ("Desarrollo de un servicio automatizado de procesamiento de observaciones GPS en Argentina. Primera Etapa").

### **1.3 Contexto específico en relación a trabajo de esta Tesis**

Pasada la primera década del siglo XXI está claro que será cada vez más necesaria la georreferenciación y que las técnicas más frecuente para obtenerla serán los sistemas de navegación global satelitales. Ninguno de los sistemas de posicionamiento permite en forma autónoma, para receptores monofrecuencias, exactitudes por debajo del metro. Si el post procesamiento diferencial la técnica que permite alcanzar mejor precisión permite con receptores de costo reducido por observar solo en una frecuencia. El método diferencial presenta dos desventajas: 1) requerir los datos de observación simultánea de otra estación GPS, situada en un punto de coordenadas conocidas, situación que ha dejado de ser problemática por la instalación sostenida de nuevas estaciones de referencia o Estaciones Permanentes GNSS (en adelante EP GNSS) que densifican en forma cada vez más homogénea redes como RAMSAC, en Argentina, o SIRGAS-CON, en América. 2) la de requerir un programa para procesar los datos, cuyo costo no suele ser menor, demandando además entrenamiento para su correcto uso.

En el ámbito de la ingeniería es destacable que desde hace varios años los organismos catastrales exigen que los profesionales de la agrimensura realicen la vinculación de las parcelas en el sistema de referencia oficial argentino POSGAR 2007, indicando en algunos casos tiempos mínimos de observación y la entrega de las observaciones GPS.

Esta tesis propone una alternativa de postprocesamiento GPS automatizada, basada en las observaciones de la red continua de estaciones GNSS de Argentina, RAMSAC, basándose en uno de los mejores programas científicos de procesamiento diferencial. El objeto es hacer accesibles los resultados del mismo en forma remota sin necesidad de que el usuario decida sobre las configuraciones del procesamiento. De esta manera se considera un importante aporte de usuarios en la región.

## **Capítulo II**

### **Sistema de Posicionamiento GPS**

#### **2.1 Sistema de Posicionamiento GPS**

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de navegación satelital desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica al inicio de la década del '70. Inicialmente fue desarrollado con fines militares, posteriormente se hizo accesible a los civiles y hoy en día sirve a ambos sectores.

El Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS) de GPS se define como: un servicio de posicionamiento y tiempo provisto por medio de la medición de señales transmitidas en la frecuencia L1 de GPS. La frecuencia L1, transmitida por todos los satélites, contiene una señal de código, con un mensaje de datos de navegación, que está disponible para uso civil, comercial y científico.

Este sistema provee continuamente información sobre el tiempo y el posicionamiento en cualquier lugar y en distintas condiciones meteorológicas.

Nominalmente este sistema está compuesto de 24 satélites operacionales. Para asegurar una cobertura de manera continua en cualquier zona de la Tierra, los satélites GPS están dispuestos en seis planos orbitales separados cada  $60^\circ$  y cuatro por cada uno de ellos. Con esta geometría, pueden ser visibles en cualquier lugar de 4 a 10 satélites con un ángulo de elevación de  $10^\circ$  o más.

Como se explicará posteriormente, solo se necesitan recibir la señal de cuatro satélites, en forma simultánea, para dar información sobre posición o ubicación

Las orbitas satelitales de GPS son prácticamente circulares (una elipse con una excentricidad de aproximadamente 0,01), con un ángulo de inclinación de  $55^\circ$  respecto al plano del ecuador. El semieje mayor tiene un valor aproximado de 26.560 km (por lo que los satélites están a una altitud de 20.000 km sobre la superficie terrestre). El período orbital es de aproximadamente 12 hs sidéreas.

El sistema GPS ha influido notablemente en la forma de hacer relevamientos y también en la navegación, desde las primeras etapas de su desarrollo. Si bien este

sistema fue pensado para fines militares, las aplicaciones en el orden civil han aumentado de manera más rápida.

En relevamientos, el GPS ha reemplazado los métodos convencionales en muchas aplicaciones. El posicionamiento GPS tiene un proceso en el cuál sin duda, puede reducir costos, sobre todo al utilizar el método RTK (Real Time Kinematic) GPS, comparado con los métodos tradicionales, en términos de productividad y tiempo de relevamiento.

Dado que GPS no requiere intervisibilidad entre estaciones, los profesionales de la Agrimensura y la Ingeniería encuentran mucho más atractivo este método por sobre los convencionales. Además en aquellas situaciones donde la señal GPS no se recibe o bien no cuenta con la calidad necesaria, se ha demostrado que es posible integrar datos GPS con aquellos de otros tipos de equipamientos.

## 2.2 Principio de posicionamiento satelital

Los satélites GPS están configurados primariamente para proveer al usuario la capacidad para determinar su posición, velocidad y tiempo (PVT). Esto es posible lograrlo con el simple proceso de usar las distancias medidas desde un topocentro hacia los satélites.

Para entender el principio, se realiza la suposición que en un instante dado el satélite permanece "estático" en su posición. Las coordenadas del satélite están definidas por el vector  $\rho^S$ , relativas al centro de la tierra son conocidas. La posición del receptor, respecto al centro de la Tierra, está dada por el vector  $\rho_R$ .

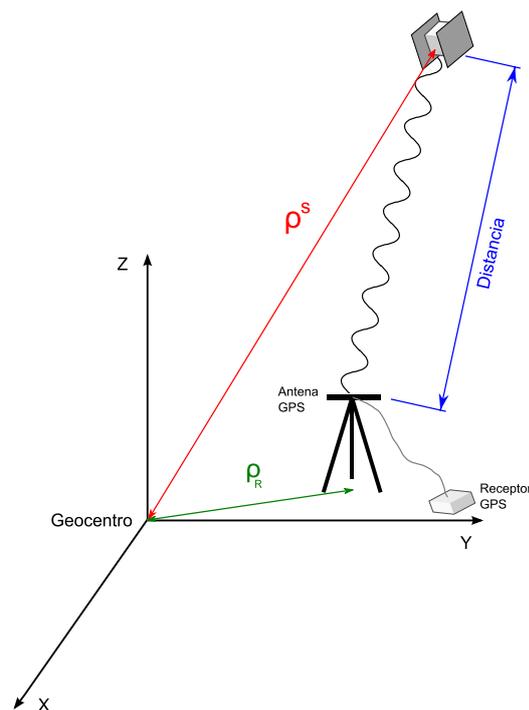


Fig. 2.1 Posición de un topocentro desde un satélite

En la Fig. 2.1 se puede apreciar el esquema que presenta el principio de posicionamiento. Nótese que la señal llega hasta la antena GPS del receptor, por lo cual deberá hacerse el correspondiente ajuste por altura de antena.

Si el receptor cuenta con un reloj que emplea el mismo sistema de tiempo del satélite, entonces la distancia verdadera (o range) a cada satélite queda determinada por el tiempo requerido por la señal transmitida para llegar desde el satélite hasta el receptor, considerando que la velocidad de la señal es igual a la de la luz.. Cada satélite tiene su propio código que lo identifica. Al contar con varios satélites, se cuenta entonces con varias distancias o “ranges”, cada una de las cuales define una esfera, más precisamente una superficie esférica, con centro en cada satélite. En consecuencia, al usar esta técnica, las distancias de sólo tres satélites podrían determinar la posición del receptor como la intersección de las tres superficies esféricas utilizando las respectivas ecuaciones de distancias (2.1)

$$\rho = \|\rho^S - \rho_R\| \quad 2.1$$

Los receptores GPS aplican esta técnica con una leve diferencia. Los relojes de los receptores no tienen la misma precisión de aquellas de los satélites y están configurados para trabajar con tiempo GPS. De este modo, el reloj del receptor tiene un “desplazamiento” (offset) del verdadero tiempo GPS, y por ello, la distancia medida a cada satélite difiere de la distancia real. Esta distancia, llamada “pseudorange”  $P$  es igual a la distancia verdadera más una corrección a la distancia  $\Delta\rho$  que es la corrección al reloj del receptor o desvío  $\delta$ .

Una forma simple de expresar esto es

$$P = \rho + \Delta\rho = \rho + c * \delta \quad (2.2)$$

siendo  $c$  la velocidad de la luz.

Es necesario medir cuatro pseudoranges, hacia cuatro satélites, en forma simultánea para poder determinar cuatro incógnitas: tres correspondientes a las componentes de la posición (X,Y,Z) y la restante para el error de reloj  $\Delta\rho$ .

Considerando la ecuación fundamental 2.2 se puede concluir que la precisión de la posición usando un solo receptor es esencialmente afectada por los siguientes factores.

- Precisión de la posición de cada satélites
- Precisión de la medición de pseudorange
- Geometría

### 2.3 Observables GPS

En esta sección se brinda una síntesis de los observables GPS, así como de las características más destacadas de aquellas combinaciones de observables particularmente útiles para la Geodesia. Para que esta sección sirva se referencia a los

capítulos subsiguientes, se ha prestado gran cuidado en asegurar que los términos y magnitudes aquí enunciados sean utilizados en forma consistente a lo largo de todo el texto. Una exposición más detallada puede encontrarse en Beutler et al. (2007), Kleusberg and Teunissen (1996), Hofmann-Wellenhof et al. (1992) y Leick and Lambert (1990).

### 2.3.1 La señal GPS

La señal GPS está compuesta por dos portadoras sinusoidales sobre la banda L, tal cual se puede ver en la Fig.2.2, las cuales están polarizadas en forma circular derecha (polarización dextrógira) y sobre las cuales se modulan códigos para la medición de distancias y un mensaje de navegación que contiene información acerca de las orbitas de los satélites, del estado de sus relojes y de la atmosfera.

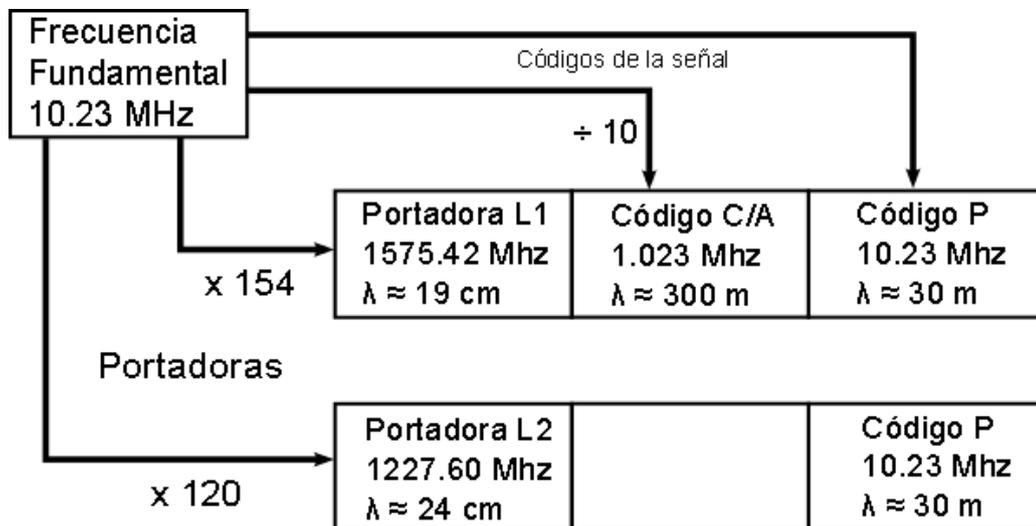


Fig. 2.2 Señal GPS

Los códigos  $C(t)$  y  $P(t)$  y el mensaje de navegación  $D(t)$  consisten en secuencias de  $+1s$  y  $-1s$ , equivalentes a cambios de fase de  $180^\circ$  sobre las correspondientes portadoras. Las secuencias numéricas  $C(t)$  y  $P(t)$  son generadas pseudo aleatoriamente (PRN, *Pseudo Random Numbers*, Números Pseudo Aleatorios) a través de la combinación de dos registros *hardware* de 10 bits. La secuencia  $C(t)$  tiene una longitud de 1023 bits, repitiéndose cada 1/1000 de segundo, mientras que la secuencia  $P(t)$  se extiende  $\approx 2.3547 \times 10^{14}$  bits, repitiéndose cada 266 días.  $P(t)$  es fraccionada en 37 segmentos distintos, con una duración de una semana cada uno, los cuales son asignados a distintos satélites de la constelación GPS.

De acuerdo a lo anterior, la señal GPS puede describirse matemáticamente como

$$L1(t) = a_p P(t) D(t) \cos(2\pi f_1 t) + a_c C(t) D(t) \sin(2\pi f_1 t) \quad (2.3)$$

$$L2(t) = b_p P(t) D(t) \cos(2\pi f_2 t) + b_c C(t) D(t) \sin(2\pi f_2 t) \quad (2.4)$$

### 2.3.2 El Tiempo GPS

La medición GPS utiliza como parte esencial en su cálculo, la medición del tiempo de viaje o “vuelo” entre el satélite y el receptor. Está definido operacionalmente como la escala de tiempo usado por el sistema GPS y está referenciado al Tiempo Universal Coordinado. Se basa en un proceso estadístico de los relojes atómicos en los satélites y los respectivos del segmento de control y entre ambos establecen la escala de tiempo y la frecuencia de la hora GPS. El sistema de tiempo GPS es una escala de tiempo continuo que no está ajustado por salto de segundo. A los relojes de los satélites se le aplica una corrección diaria de 38,5  $\mu$ s, que absorbe más del 99,65 % del efecto relativístico. Una época en el sistema de tiempo GPS se distingue por el número de segundos que transcurren desde la medianoche del sábado/domingo. Las semanas GPS se numeran secuencialmente y la semana GPS “0” comenzó el 6 de enero de 1980 a las 0 h TU.

## 2.4 Medición

### 2.4.1 Medición de código

Una portadora de referencia es generada localmente por el receptor, la cual es modulada con la secuencia PRN conocida. Esta señal modulada de referencia es correlacionada con la señal satelital recibida. Despreciando los errores de sincronización, de los relojes del receptor y el satélite, la correlación resulta directamente en el tiempo de viaje  $\tau$  de la señal, o equivalentemente en la distancia recorrida.

$$\tau = T_R - T^S \quad (2.5)$$

$T_R$ : tiempo de receptor

$T^S$ : tiempo de satélite

$$P(t) = c\tau \quad (2.6)$$

siendo  $c$  la velocidad de la luz.

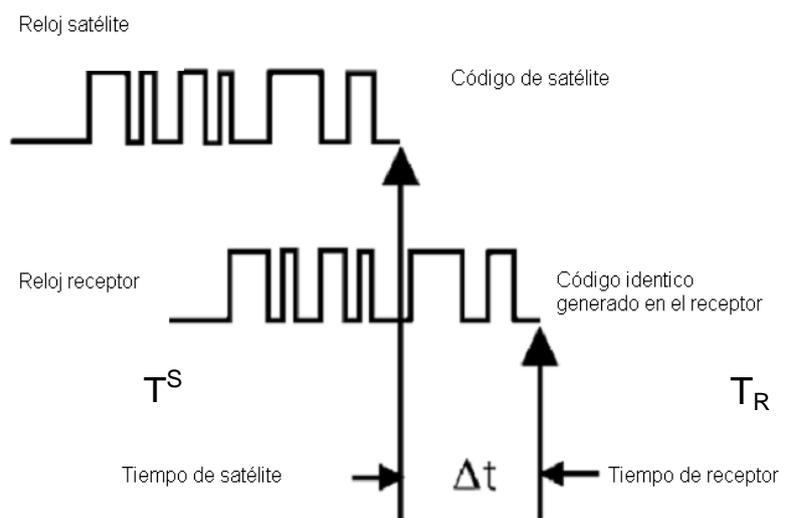


Fig. 2.3 Medición de código

### 2.4.2 Medición de fase

La señal recibida es demodulada y correlacionada con la portadora generada en el receptor, a fin de medir la diferencia de fase entre ambas portadoras. La diferencia de fases medida representa el estado del oscilador local  $\phi_{Fk}(t)$  en el instante de recepción respecto del estado del oscilador del satélite  $\phi_{iF}(t - \tau)$  en el instante de emisión, ambos para la portadora de frecuencia  $F$  ( $F = 1$  o  $F = 2$ ). Al adicionar a esta magnitud el número, en principio desconocido, de longitudes de onda enteras  $n_{Fk}^i$  entre el receptor  $k$  y el satélite  $i$ , y expresando el resultado en unidades de longitud a través de la longitud de onda nominal  $\lambda_F$  de la portadora correspondiente, se obtiene la distancia recorrida

$$\lambda_F (\phi_{Fk}(t) - \phi_{iF}(t - \tau)) + \lambda_F n_{Fk}^i \quad (2.7)$$

donde  $n_{Fk}^i$  es denominada ambigüedad inicial de fase para la portadora de frecuencia  $F$ .

## 2.5 Errores en las observaciones GPS

Las observaciones GPS, así como cualquier observación involucrada en procesos de medidas están sujetas a errores aleatorios, sistemáticos y groseros. Los últimos deberían ser detectados y eliminados antes de que las observaciones se utilicen en procesos de cálculo. Los errores sistemáticos pueden ser “modelados” utilizando modelos matemáticos, o eliminados por técnicas apropiadas en la observación. En tanto, los errores sistemáticos, por su misma propiedad son inherentes a la medición.

Mediante un modelo matemático, al realizar la estimación de los parámetros, se puede estimar estos errores aunque no represente una realidad física. Aún con una buena modelación, algunos errores no son eliminados, por lo cual en el posicionamiento geodésico las correcciones de los mismos también deben ser estimadas.

En la Fig. 2.4 se visualiza un esquema representativo de los errores y el orden con que afectan a la medición GPS.

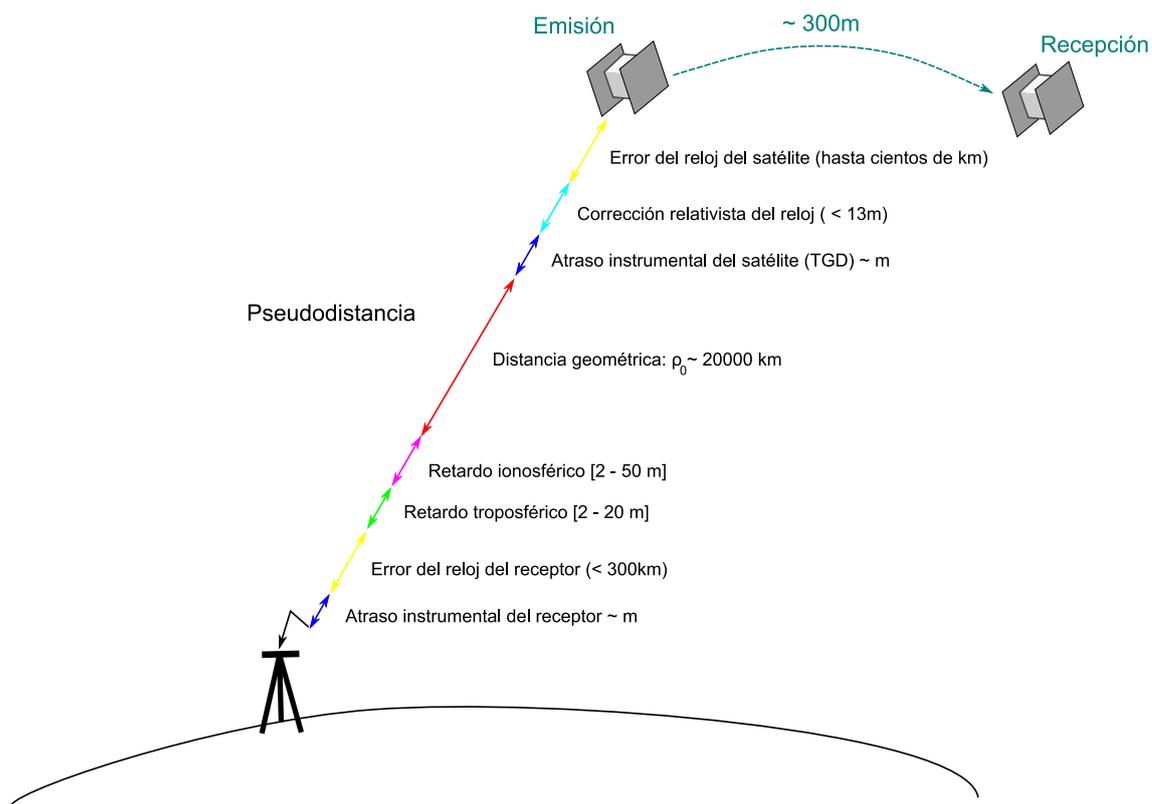


Fig. 2.4 Errores en la medición GPS

A continuación se describen los errores que presentan una mayor influencia sobre las coordenadas estimadas.

## 2.6 Errores

### 2.6.1 Error de órbita del satélite

Para realizar el procesamiento de las observaciones GPS es necesario contar con la información correspondiente a la posición y estado de los satélites de los cuáles recibe la información el receptor. Tanto si las coordenadas de los satélites no reflejaran correctamente la posición como el error propio de los relojes de los satélites tuvieran error, estos afectarían el posicionamiento.-

### 2.6.2 Error en las Efemérides transmitidas y relojes

Al existir discrepancias entre la órbita calculada disponible y la trayectoria real, se hace evidente que la componente radial del error orbital provoca errores en la determinación de la ubicación de la posición del usuario, sobre todo para un posicionamiento absoluto, más que para un posicionamiento relativo. Cuando se

realiza posicionamiento relativo, para estaciones cercanas, la mayoría de los errores se cancelan al realizar la diferenciación en el cálculo de las coordenadas relativas.

En la tabla 2.1 se muestra la precisión de la orbitas de acuerdo al tipo de efemérides con las que se trabaja. Como se puede observar el menor error orbital se encuentra utilizando las efemérides precisas. Pero la aplicación de las efemérides también será función de los requerimientos de precisión y del tiempo que demande un determinado trabajo para el cual se necesita resultados (coordenadas) confiables.

Tipo de efemérides	Precisión	Latencia	Actualización	Intervalo de muestra
Transmitidas	~100 cm	Tiempo real	-----	Diariamente
Ultrarrápidas	~3 cm	3 – 9 hs	03,09,15 y 21 hs UTC	15 min.
Rápidas	~2,5 cm	17 – 41 hs	17 HS UTC diariamente	15 min.
Precisas	~2,5 cm	12 – 18 días	Todos los jueves	15 min.

Tabla Nº 2.1 Errores orbitales en función de la línea base

En muchos casos, la exactitud en la determinación de la línea base se establece como una proporción de la longitud de la base, estimada en parte por millón. Por ejemplo, un error orbital de 25 m se propaga con una precisión relativa de 1 ppm, y un error de la órbita de 5 m corresponde a 0,2 ppm, es decir, 1 cm sobre los 50 km.

Si se acepta un error de 1 cm en la determinación de la longitud de la línea base, es posible decir que para bases cortas, la exactitud de la órbita no sea un factor crítico. Así mismo, para distancias largas y en trabajos que requieren gran precisión, no es recomendable el uso de efemérides transmitidas.

En términos generales, en distancias entre puntos de varias decenas de kilómetros para trabajos de georreferenciación, para generar y/o actualizar cartografía a escala 1:2000 o menores, en trabajos de ingeniería de proyectos, por mencionar algunos, la precisión de las orbitas transmitidas resulta suficiente. Cuando se necesita gran precisión por el tipo de tarea que se realiza (determinación de velocidades, auscultación de puentes y/o diques, etc.), es necesario utilizar efemérides precisas.

### 2.6.3 Error en la medición del Tiempo GPS

Cada satélite tiene un conjunto de relojes que establecen el tiempo y frecuencia de la hora GPS. A los relojes de los satélites se le aplica una corrección diaria de  $38,5 \mu\text{s}$ , que absorbe más del 99,65 % del efecto relativístico. La estación maestra de control (MCS) aplica dicha corrección. Si hubiera un error en la sincronización de  $1 \mu\text{s}$ , produciría un error de 300 m en el pseudorange correspondiente. Como se dijo anteriormente, para trabajos de gran precisión es necesario que la corrección esté en el orden de los nanosegundos. De todas formas, aún con las correcciones realizadas, el comportamiento de cada reloj difiere levemente del modelo por errores en la correlación de frecuencias. Esto se puede estimar en el proceso de ajuste.

### 2.6.4 Multipath

También conocido como multicamino o multitrayectoria. El receptor recibe señal no sólo de los satélites sino también señales que provienen de la reflexión de las propias del satélite sobre superficies reflectantes (Fig. 2.5). De esta forma al receptor llegan señales directas e indirectas que terminan introduciendo errores en los observables GPS.

El multipath afecta tanto a las mediciones de código como de fase. El efecto sobre observaciones "P" es dos órdenes mayor que sobre las portadoras de fase y puede alcanzar desde los decímetros hasta el metro. El efecto sobre C/A es de varios metros y podría alcanzar valores extremos de 100 m. En las peores condiciones puede producir saltos de ciclos.

El multipath en código se torna crítico cuando la técnica de combinación código/portadora, se usa en la resolución de ambigüedad. La corrección al multipath es esencial para el DGPS usando código. Este error se puede minimizar con observaciones de grandes períodos de tiempo. Esto, es claro, no es posible sobre observaciones en relevamientos cinemáticos y/o estáticos rápidos.

Para evitar este error, es necesario una elección adecuada del sitio de observación, de tal forma de evitar superficies reflectantes como así mismo y de ser posible el uso de antenas de plano grande (ground plane) tipo choke ring. Además, los fabricantes también han desarrollado tecnología adecuada que permite mitigar este efecto a tiempo real.

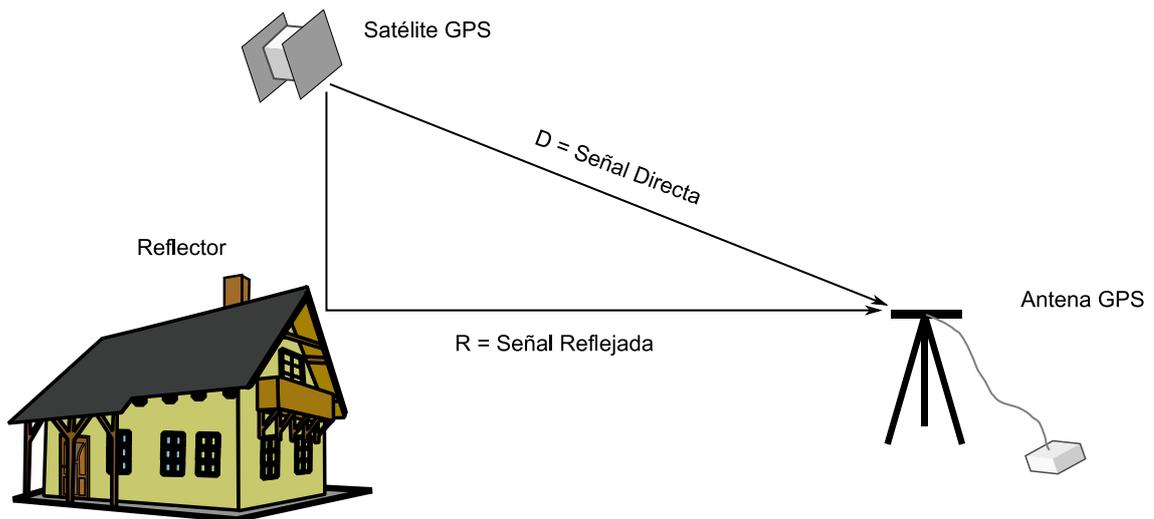


Fig. 2.5 Error por multipath

### 2.6.5 Excentricidad del centro de Fase de Antena

Contrariamente a lo que se podría imaginar, en las observaciones GPS, no están referenciadas al centro geométrico de las antenas sino al centro electrónico de fase de la antena. La diferencia entre esos dos centros, no es constante para una determinada antena, dependen principalmente de la elevación y del azimut de los satélites, así como también de la intensidad de la señal transmitida, siendo además esta diferencia de centros de las frecuencias L1 y L2, distinta según se trate de receptores de simple o doble frecuencia (Fig.2.6) [HOFMANN-WELLENHOF e t al., 1997].

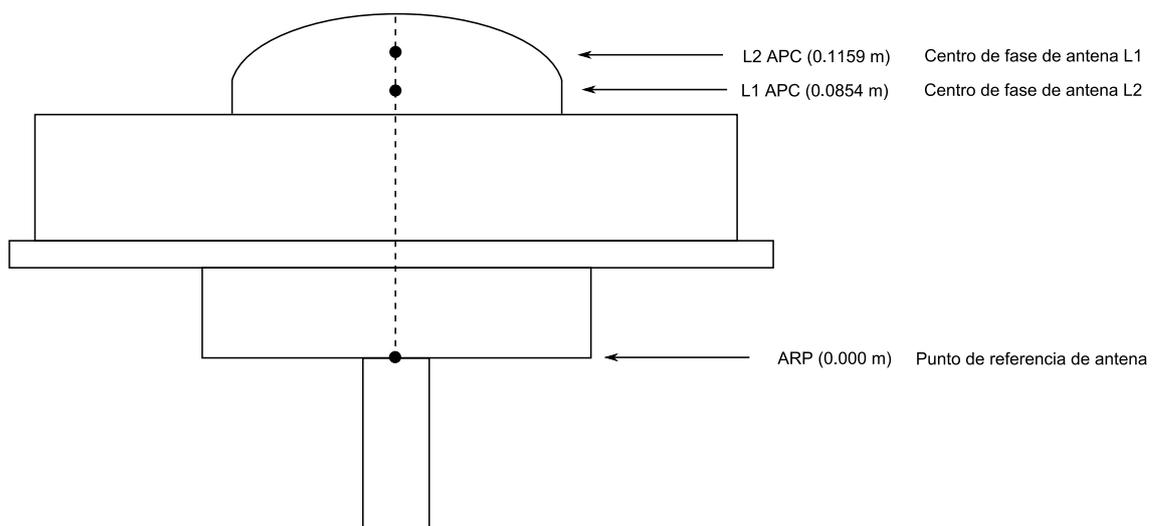


Fig.2.6 Esquema del Offset del centro de fase de la antena

Generalmente el centro geométrico es la intersección del eje mecánico (coincidente con la vertical del punto una vez centrado y nivelado) con el centro del plato de la antena. Los centros de fase tanto de L1 como de L2, que pueden o no coincidir, están por encima del centro geométrico. El ARP (punto de referencia de la antena) está definido mecánicamente como la intersección del eje mecánico con la parte inferior de la carcasa de la antena. El centro electrónico verdadero depende del azimuth y elevación de los satélites observados, por lo cual es necesario aplicar una corrección a cada observación, y se conoce como calibración por centro de fase PCV (variaciones del centro de fase) que puede alcanzar varios milímetros [<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/main.jsp>].

Al trabajar con un mismo tipo de antena, en el posicionamiento relativo, en una sesión, el efecto del centro de fase puede ser eliminado. En las observaciones de precisión es aconsejable que las antenas estén orientadas de la misma forma y dirección.

En trabajos que requieran posicionamiento de precisión, las correcciones al centro de fase deben ser consideradas y sólo usar antenas calibradas. En relevamientos donde se utilicen distintos tipos de antena y no se aplique esta corrección según el PCV, se estaría dando lugar a errores que no provienen de la medición sino de cálculo.

En general, los programas de procesamiento tienen un listado de antenas calibradas por IGS y/o NGS que permiten aplicar esta corrección a cada observación.

Es necesario conocer el tipo de antena según especificada por el IGS, dado que el mismo publica un listado con las calibraciones y excentricidades de los distintos modelos de antenas reconocidos por él

En las Fig.2.7a y Fig.2.7b se muestran a modo de ejemplo los esquemas correspondientes al offset de las antenas ASH 700936A\_M y TRM 14532.00 respectivamente.

# ASH 700936A\_M

## Choke Ring Antenna

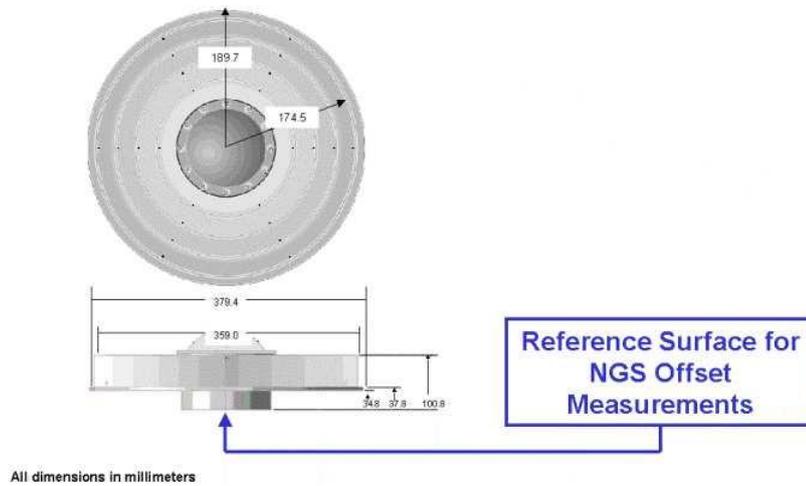


Fig. 2.7a Esquema antenna Ashtech modelo ASH 700936A\_M

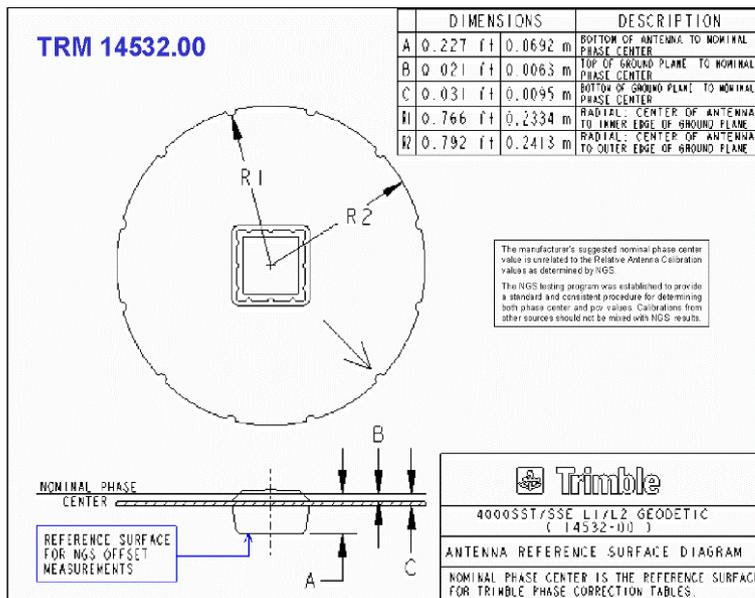


Fig. 2.7b Esquema antenna Trimble modelo TRM 14532.00

En el procesamiento, se pueden utilizar las informaciones sobre correcciones a los centros de fase disponibles para todos los receptores y antenas calibradas, del NGS (<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>), o por el IGS (<http://igsb.jpl.nasa.gov>).

## 2.6.6 Errores sobre la propagación de la señal

La señal GPS desde que sale del satélite hasta llegar al receptor en tierra atraviesa dos capas principales de la atmósfera que perturban la señal.

La ionosfera ubicada entre los 70 .km y 1000 .km conocida con ese nombre por la gran cantidad de iones libres presentes.

La Troposfera es la capa más baja de la atmosfera de 10 km a 40 km aproximadamente de altitud desde la superficie topográfica, conocida como capa neutra de la atmosfera. La particularidad de esta es la gran concentración de vapor de agua presente y su variación en función del tiempo y del espacio que produce refracción en la señal.

A continuación se detallan los errores específicos de cada una de ellas.

### 2.6.6.1 Refracción Troposférica

La troposfera es la capa más baja de la atmosfera de 10 km de altitud en latitudes medias y es un medio no dispersivo para frecuencias superiores a los 15 GHz Dentro de este medio, la fase y el código tanto en L1 como en L2 se retrasan en la misma magnitud y signo con respecto a un medio sin troposfera.

Este retraso es una función del índice de refracción troposférico, que depende la temperatura local, presión y la humedad relativa, variando con la altitud de la posición del receptor, la latitud del punto y la cercanía de masas de agua (LEICK, 1994).

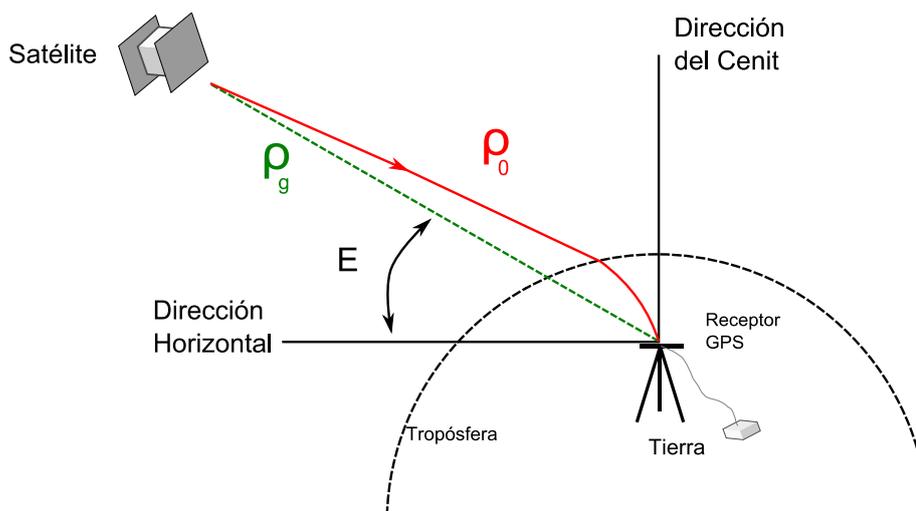


Fig. 2.8 Refracción troposférica

El retraso troposférico no puede ser determinado por mediciones de doble frecuencia.

Usualmente, la influencia de la atmosfera neutra en las mediciones de distancia a los satélites en el dominio de la radio frecuencia que tiene la señal GPS, está expresada en dos términos: componente húmeda y componente seca. La componente húmeda depende de la distribución de vapor de agua en la atmosfera y es la más difícil de modelar.

$$N^{trop} = N_d^{trop} + N_w^{trop} \quad (2.8)$$

$N_w^{trop}$ : índice de refracción troposférica

$N_d^{trop}$ : componente seca

$N_w^{trop}$ : componente húmeda

Por lo que el retardo troposférico queda definido por:

$$\Delta T = \Delta T_d + \Delta T_w = 10^{-6} \int N_d^{trop} ds + 10^{-6} \int N_w^{trop} ds \quad (2.9)$$

Considerando la ecuación precedente, el total del retardo troposférico está compuesto de una componente hidrostática (de aproximadamente 2.3 m en la dirección acimutal a nivel del mar), la cual es dominada por el peso del aire seco de la columna atmosférica siendo, de este modo, lentamente variable, estable y representando el 90% del retardo total [Janes et al., 1989] y de una componente húmeda, mucho más pequeña en proporción, pero altamente variable [Davis et al, 1985] la cual para cálculos precisos es estimada a partir de mediciones GPS, en base a parámetros troposféricos para intervalos de tiempo como por ejemplo cada 1 o 2 horas.

Para la componente seca existen modelos disponibles. Entre alguno de ellos podemos mencionar Saastamoinen, Hopfield, Marini-Mur, etc.

Si las estaciones son cercanas, el error residual troposférico casi desaparece por completo al diferenciar en el modo relativo de observación. No es recomendable introducir datos meteorológicos por cada estación en el ajuste de una pequeña red en regiones planas. Las mediciones locales no representan la situación atmosférica regional con suficiente rigor y en consecuencia introduce errores en la solución. En lugar de eso, deberían usarse parámetros atmosféricos estándar apropiados a la zona para todas las estaciones. [Seeber, 2003].

El retraso troposférico es crítico para el posicionamiento preciso y determinación de líneas base, en particular en la componente de altura, porque los parámetros troposféricos tienen muy poca correlación sobre grandes distancias.

### 2.6.6.2 Refracción Ionosférica

La ionosfera es un medio dispersivo ubicado entre los 70 km a 1000 km aproximadamente de altura respecto a la superficie terrestre. Dentro de esta región, los rayos ultravioletas provenientes del sol, ionizan una porción de moléculas de gas y en ese proceso aparecen electrones libres. Estos electrones influyen en la propagación de ondas electromagnéticas incluidas las correspondientes a la señal GPS, entre otras.

La ionosfera produce efectos distintos en los observables de código y de fase. El efecto ionosférico en la propagación de código es, del mismo orden de la propagación de la portadora de fase pero de signo opuesto, produciendo un retraso en la medición del código y un adelantamiento de la medición de fase. De tal forma que las pseudodistancias se “alargan” y las mediciones de fase se “acortan” comparadas con la distancia geométrica entre el satélite y el receptor.

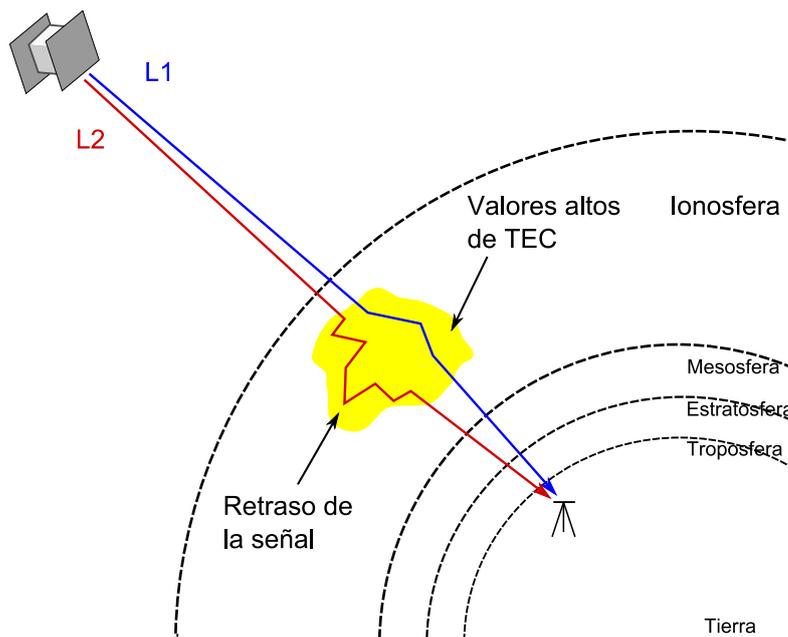


Fig. 2.9 Refracción ionosférica

Los principales parámetros que influyen en la actividad de la ionosfera son la actividad solar y el campo magnético. De manera contraria a lo que sucede con la refracción troposférica, la refracción ionosférica depende de la frecuencia de la señal, de la ubicación geográfica del receptor, y de los datos y horarios en los cuales las observaciones han sido realizadas (Seeber, 2003). El error resultante para frecuencias GPS varían desde 1 m hasta 100 m. Los receptores doble frecuencia hacen uso del hecho que las señales L1 y L2 no se comportan de la misma forma en la ionosfera.

El retraso ionosférico puede ser estimado cuando se cuenta con observaciones en dos frecuencias distintas. Esto se puede realizar a través de combinaciones lineales de ambas frecuencias, como la combinación conocida “Libre de Ionosfera o L3. En el apartado 2.9.1 se explicará esto. En receptores simple frecuencia, no pueden ser aplicadas la combinación L3 correspondientes a dobles frecuencias. Una forma de corregir el retraso para los receptores simple frecuencia es hacer uso de los coeficientes de corrección que son parte del mensaje del satélite GPS en el modelo de corrección ionosférico. (Klobuchar, 1987, 1996). El modelo Klobuchar tiene ocho componentes y remueve cerca del 50% del retraso ionosférico en latitudes medias.

Los errores residuales luego de aplicar modelos ionosfericos son cancelados, mayormente en observaciones relativas en dos estaciones sobre distancias cortas, en tanto los satélites son observados en las mismas condiciones de atmosfera. El error remanente en observaciones con equipos simple frecuencia se estiman de 1 a 2 ppm de la distancia entre estaciones. Esto es válido en condiciones de ionosfera “quieta” y sólo para observaciones en latitudes medias. Los períodos de alta actividad solar han demostrado que los errores residuales pueden ser significativamente mayores. Es recomendable usar equipos doble frecuencia para mediciones de alta precisión.

**La siguiente tabla presenta una síntesis de los errores y la manera de atenuarlos**

<b>Fuentes</b>	<b>Errores</b>	<b>Corrección/atenuación</b>
<b>Satélites</b>	Orbitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efemérides precisas</li> <li>• Posicionamiento relativo</li> </ul>
<b>Propagación</b>	Multipath	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antenas especiales</li> <li>• Máscaras de elevación</li> <li>• Horizonte despejado</li> </ul>
	Pérdida de ciclo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• horizonte despejado</li> <li>• triple diferencias de fase</li> <li>• receptores/antenas</li> </ul>
	Refracción troposférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• modelos de troposfera</li> <li>• posicionamiento relativo</li> <li>• líneas de base cortas</li> </ul>
	Refracción ionosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• modelos de ionosfera</li> <li>• receptores doble frecuencia</li> <li>• posicionamiento relativo</li> <li>• dobles diferencias</li> <li>• línea de base corta</li> </ul>
<b>Receptor antena</b>	Centro de fase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• modelos de antenas iguales</li> <li>• archivos de corrección (IGS)</li> </ul>
<b>Estación</b>	* Error en las coordenadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marcos de referencia geocéntricos precisos</li> <li>• Modelos geofísicos</li> </ul>

	* Mareas terrestres y Oceánicas * Movimiento del Polo * Carga Oceánica	
--	--	--

Tabla N° 2.2 Resumen de errores en medición GPS

## 2.7 Las ecuaciones de observación

A partir de la ec. 2.5 y la ec. 2.6, y dados

$\underline{t}$  instante de recepción (en la escala de tiempo GPS)

$\tau$  tiempo de viaje de la señal (del satélite al receptor)

$t_k(t)$  lectura del reloj del receptor en el instante de recepción

$\delta_k(t)$  error del reloj del receptor en el instante  $t$  ( $t = t_k - \delta_k$ )

$\delta_k^i(t)$  error del reloj del satélite en el instante  $t - \tau$

$\rho_k^i(t, t - \tau)$  distancia geométrica entre el receptor  $k$  y el satélite  $i$

pueden obtenerse las ecuaciones de observación correspondientes a los observables código y fase, las que resultan

$$P_{Fk}^i(t) = \rho_k^i(t, t - \tau) + c\delta_k(t) - c\delta^i(t - \tau) \quad (2.10a)$$

$$L_{Fk}^i(t) = \rho_k^i(t, t - \tau) + c\delta_k(t) - c\delta^i(t - \tau) + \lambda_F n_{Fk}^i \quad (2.10b)$$

donde se ha explicitado el efecto de falta de sincronización entre los relojes del satélite y el receptor. Debido a esta falta de sincronización  $P_{Fk}^i(t)$  es denominado pseudo distancia (*pseudo range*). Puede verse que  $L_{Fk}^i(t)$  equivale también a la pseudo distancia, a menos de una constante.

## 2.8 Errores de medición

El retardo troposférico, denotado como  $\Delta\rho_k^i(t)$ , es independiente de la frecuencia  $F$  (medio no dispersivo en la banda L) y su efecto es igual sobre los observables código y fase.

El retardo ionosférico, se denota  $I_{Fk}^i(t)$ , y su efecto es opuesto sobre los observables código y fase: produce un retardo en el código y un adelantamiento en la fase. En una primera, pero excelente, aproximación, la refracción ionosférica resulta ser inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia  $f_F$  de la portadora

$$I_{Fk}^i(t) \propto \frac{1}{f_{2F}^2} \quad (2.11)$$

Debido a esta proporcionalidad, el efecto sobre la portadora de frecuencia  $f_2$  puede ser expresado en función del correspondiente a la frecuencia

$$f_1 I_{2k}^i(t) = \frac{f_1^2}{f_2^2} * I_{1k}^i(t) \quad (2.12)$$

Las ecuaciones de observación, para ambas portadoras, resultan

$$P_{1k}^i(t) = \rho_k^i(t, t - \tau) + c\delta_k(t) - c\delta^i(t - \tau) + I_{1k}^i(t) + \Delta\rho_k^i(t) \quad (2.12a)$$

$$P_{2k}^i(t) = \rho_k^i(t, t - \tau) + c\delta_k(t) - c\delta^i(t - \tau) + \frac{f_1^2}{f_2^2} * I_{1k}^i(t) + \Delta\rho_k^i(t) \quad (2.12b)$$

$$L_{1k}^i(t) = \rho_k^i(t, t - \tau) + c\delta_k(t) - c\delta^i(t - \tau) - I_{1k}^i(t) + \Delta\rho_k^i(t) + \lambda_1 n_{1k}^i \quad (2.12c)$$

$$L_{2k}^i(t) = \rho_k^i(t, t - \tau) + c\delta_k(t) - c\delta^i(t - \tau) - \frac{f_1^2}{f_2^2} * I_{1k}^i(t) + \Delta\rho_k^i(t) + \lambda_2 n_{2k}^i \quad (2.12d)$$

Estas ecuaciones suelen denominarse *cero diferencias* de los observables originales no diferenciados. Las diferencias de observables permiten eliminar o reducir el efecto de algunos de los errores sistemáticos.

Las *simples diferencias* (entre los receptores  $k$  y  $l$ ), se calculan a fin de eliminar el error de reloj de satélite

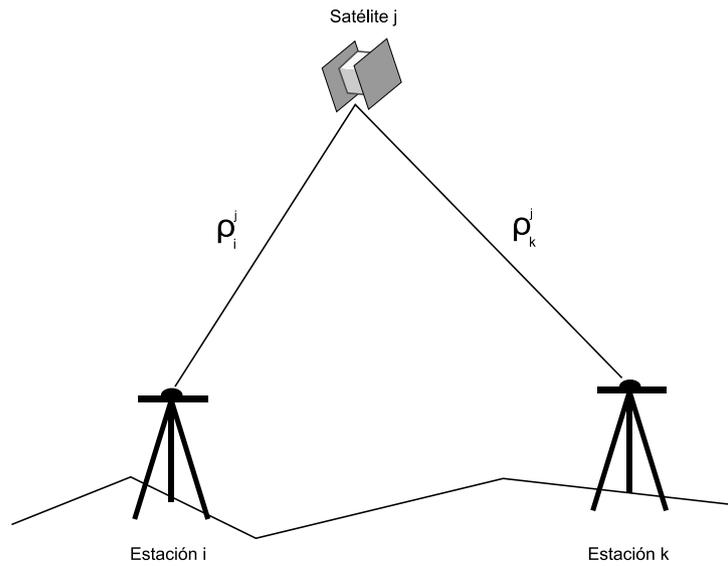


Fig. 2.10 Esquema de simple diferencia

$$P_{Fkl}^i(t) = P_{Fk}^i(t) - P_{Fl}^i(t) \quad (2.11a)$$

$$L_{Fkl}^i(t) = L_{Fk}^i(t) - L_{Fl}^i(t) \quad (2.11b)$$

Con las diferencias anteriores es posible definir las *dobles diferencias* (entre los receptores  $k$  y  $l$  y los satélites  $i$  y  $j$ ), a fin de eliminar los errores de reloj de los receptores.

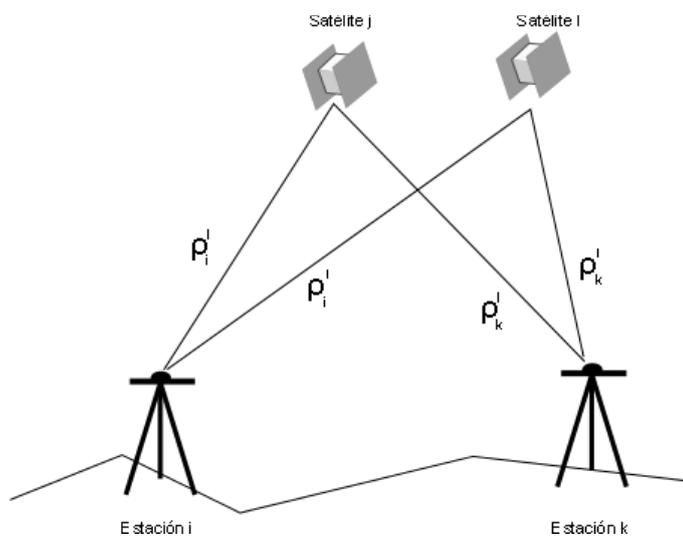


Fig. 2.11 Esquema de doble diferencia

$$P_{Fkl}^{ij}(t) = P_{Fkl}^i(t) - P_{Fkl}^j(t) \quad (2.12a)$$

$$L_{Fkl}^{ij}(t) = L_{Fkl}^i(t) - L_{Fkl}^j(t) \quad (2.12b)$$

resultando las siguientes ecuaciones de observación

$$P_{1kl}^{ij}(t) = \rho_{kl}^{ij}(t, t - \tau^i, t - \tau^j) + I_{1kl}^{ij}(t) + \mathbb{Q}\rho_{kl}^{ij}(t) \quad (2.13a)$$

$$P_{2kl}^{ij}(t) = \rho_{kl}^{ij}(t, t - \tau^i, t - \tau^j) + \frac{f_1^2}{f_2^2} I_{1kl}^{ij}(t) + \mathbb{Q}\rho_{kl}^{ij}(t) \quad (2.13b)$$

$$L_{1kl}^{ij}(t) = \rho_{kl}^{ij}(t, t - \tau^i, t - \tau^j) - I_{1kl}^{ij}(t) + \Delta\rho_{kl}^{ij}(t) + \lambda_1 n_{1kl}^{ij} \quad (2.13c)$$

$$L_{2kl}^{ij}(t) = \rho_{kl}^{ij}(t, t - \tau^i, t - \tau^j) - \frac{f_1^2}{f_2^2} I_{2kl}^{ij}(t) + \Delta\mathbb{Q}\rho_{kl}^{ij}(t) + \lambda_2 n_{2kl}^{ij} \quad (2.13d)$$

En las ec. 2.13 puede observarse que los errores de sincronización de los relojes han sido cancelados (asumiendo que se conocen con suficiente exactitud, de manera de calcular la distancia geométrica diferencial  $\rho_{kl}^{ij}$  correctamente).

A partir de las dobles diferencias pueden definirse las *triples diferencias*, involucrando dos épocas de observación distintas, intentando eliminar las ambigüedades,

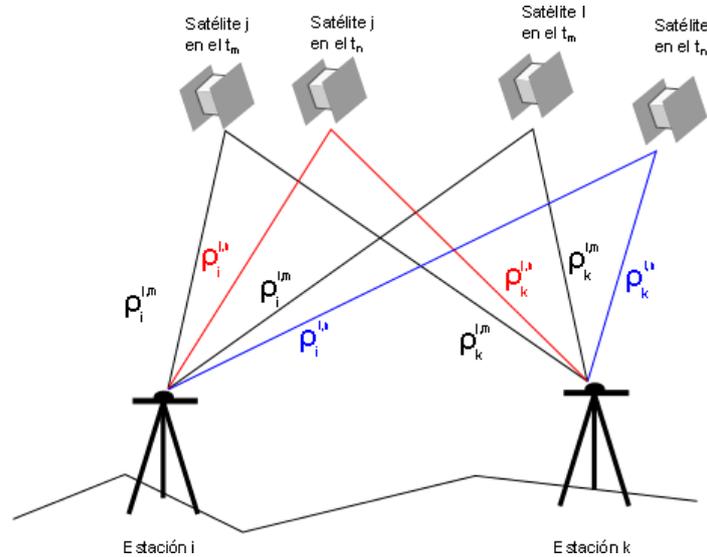


Fig. 2.12 Esquema de triple diferencia

$$P_{Fkl}^{ij}(t_1, t_2) = P_{Fkl}^{ij}(t_2) - P_{Fkl}^{ij}(t_1) \quad (2.14a)$$

$$L_{Fkl}^{ij}(t_1, t_2) = L_{Fkl}^{ij}(t_2) - L_{Fkl}^{ij}(t_1) \quad (2.14b)$$

En caso de que el intervalo  $t_2 - t_1$  se corresponda con un múltiplo de un día sidéreo, el error sistemático correspondiente al efecto de camino múltiple se cancelara, por repetirse exactamente la configuración geométrica entre los dos receptores (supuestos estáticos), los dos satélites y el entorno perturbador (suponiendo que no se modificó). Este intervalo temporal encuentra aplicación al modelar el centro de fase de las antenas GPS en ambientes propensos al efecto de camino múltiple (Seeber et al. 1997).

Si las épocas diferenciadas son muy cercanas,  $t_2 - t_1 \sim$  decenas de segundos, el efecto del retardo troposférico es cancelado debido a su lenta variación temporal, resultando las siguientes ecuaciones de observación para las triples diferencias

$$P_{1kl}^{ij}(t_1, t_2) = \rho_{kl}^{ij}(t_2, t_2 - \tau^i, t_2 - \tau^j) - \rho_{kl}^{ij}(t_1, t_1 - \tau^i, t_1 - \tau^j) I_{1kl}^{ij}(t_2) - I_{1kl}^{ij}(t_1) \quad (2.15a)$$

$$P_{2kl}^{ij}(t_1, t_2) = \rho_{kl}^{ij}(t_2, t_2 - \tau^i, t_2 - \tau^j) - \rho_{kl}^{ij}(t_1, t_1 - \tau^i, t_1 - \tau^j) + \frac{f_1^2}{f_2^2} (I_{1kl}^{ij}(t_2) - I_{1kl}^{ij}(t_1)) \quad (2.15b)$$

$$L_{1kl}^{ij}(t_1, t_2) = \rho_{kl}^{ij}(t_2, t_2 - \tau^i, t_2 - \tau^j) - \rho_{kl}^{ij}(t_1, t_1 - \tau^i, t_1 - \tau^j) - I_{1kl}^{ij}(t_2) + I_{1kl}^{ij}(t_1) \quad (2.15c)$$

$$L_{2kl}^{ij}(t_1, t_2) = \rho_{kl}^{ij}(t_2, t_2 - \tau^i, t_2 - \tau^j) - \rho_{kl}^{ij}(t_1, t_1 - \tau^i, t_1 - \tau^j) - \frac{f_1^2}{f_2^2} (I_{1kl}^{ij}(t_2) - I_{1kl}^{ij}(t_1)) \quad (2.15d)$$

En las ec. 2.15 se pone de manifiesto la ventaja principal de las triples diferencias: las constantes, *a priori desconocidas*,  $n_{FKl}^{ij}$  se cancelan, asumiendo que las ambigüedades iniciales de fase  $n_{FK}^i$ ,  $n_{Fl}^j$ ,  $n_{FK}^j$  y  $n_{Fl}^i$  se mantienen constantes durante el intervalo  $[t_1, t_2]$ .

## 2.9 Combinaciones lineales de observables

Mediante los observables vistos anteriormente es posible definir ciertas combinaciones lineales (LC, *Linear Combinations*) que permitirán eliminar algunas de las fuentes de error, ayudar a fijar los saltos de ciclos y también calcular las ambigüedades. A continuación se describen algunas de estas LCs, señalando en cada caso sus propiedades más importantes. Por simplicidad se omitirán los argumentos temporales en las definiciones de las LC, y se representaran en forma general, con P1,

$P_2$ ,  $L_1$  y  $L_2$ , a los observables código y fase tanto al nivel de las cero como de las dobles diferencias.

### 2.9.1 Combinación lineal libre de ionosfera (L3)

Las combinaciones lineales

$$P_3 = \frac{1}{f_1^1 - f_2^2} (f_1^2 P^1 - f_2^2 P_2) \quad (2.16a)$$

$$L_3 = \frac{1}{f_1^1 - f_2^2} (f_1^2 L^1 - f_2^2 L_2) \quad (2.16b)$$

son denominadas *libre de ionosfera*, debido a que el retardo ionosférico es prácticamente eliminado para líneas mayores a los 10 km.

En el caso de las dobles diferencias de fase, esta combinación lineal toma la forma

$$L_{3kl}^{ij}(t) = \rho_{kl}^{ij}(t, t - \tau^i, t - \tau^j) + \Delta\rho_{kl}^{ij}(t) + \underbrace{\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_1 n_{1kl}^{ij} - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_2 n_{2kl}^{ij}}_{B_{3kl}^{ij}} \quad (2.17)$$

donde  $B_{3kl}^{ij}$  es denominado *bias libre de ionosfera*. Definiendo la diferencia de ambigüedades

$$n_{5kl}^{ij} = n_{1kl}^{ij} - n_{2kl}^{ij},$$

y recordando que  $\lambda_F f_F = c$ , puede expresarse  $B_{3kl}^{ij}$  como

$$B_{3kl}^{ij} = c \frac{f_2}{f_1^2 - f_2^2} n_{5kl}^{ij} + c \frac{1}{\underbrace{f_1 + f_2}_{\lambda_3}} n_{1kl}^{ij} \quad (2.18)$$

La longitud de onda formal  $\lambda_3$  es  $\sim 11$  cm, por lo que  $n_{1kl}^{ij}$  es denominado generalmente ambigüedad angosta (en inglés *narrow-lane ambiguity*).

### 2.9.2 Combinación lineal libre de geometría

Las combinaciones lineales

$$P_4 = P_1 - P_2 \quad (2.19a)$$

$$L_4 = L_1 - L_2 \quad (2.19b)$$

son independientes de los relojes de los receptores y los satélites, de los retardos troposféricos y de la geometría involucrada (órbitas, posiciones de los receptores).

Esta LC solo contiene los retardos ionosfericos y, en el caso de las fases, las ambigüedades, por lo que es utilizada para estimar modelos ionosfericos.

En el caso de las dobles diferencias en fase, esta LC toma la forma

$$L_{4kl}^{ij}(t) = \frac{f_1^2 - f_2^2}{f_2^2} I_{1kl}^{ij}(t) + \lambda_1 n_{1kl}^{ij} - \lambda_2 n_{2kl}^{ij} \quad (2.20)$$

### 2.9.3 Combinación lineal wide-lane

La combinación lineal

$$L_5 = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2) \quad (2.21)$$

es denominada *wide-lane*, y solo tiene sentido definirla para las fases, ya que su ventaja más importante radica en la ampliación de la longitud de onda formal, definiendo una nueva ambigüedad de fase. También fija los saltos de ciclos.

En el caso de las dobles diferencias, esta LC toma la forma

$$L_{5kl}^{ij}(t) = \rho_{kl}^{ij}(t, t - \tau^i, t - \tau^j) + \Delta\rho_{kl}^{ij}(t) + \frac{f_1}{f_2} I_{1kl}^{ij}(t) + c \frac{1}{\underbrace{f_1 - f_2}_{\lambda_5}} \underbrace{(n_{1kl}^{ij} - n_{2kl}^{ij})}_{n_{5kl}^{ij}} \quad (2.22)$$

La longitud de onda formal  $\lambda_5$  es  $\sim 86$  cm, por lo que  $n_{5kl}^{ij}$  es denominada generalmente ambigüedad amplia (en inglés *wide-lane ambiguity*).

### 2.9.4 Combinación lineal Melbourne-Wübbena

La combinación lineal

$$L_6 = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2) - \frac{1}{f_1 + f_2} (f_1 P_1 + f_2 P_2) \quad (2.23)$$

es denominada Melbourne-Wübbena, e involucra tanto los observables fase como código sobre ambas portadoras. Esta LC elimina los efectos de la refracción ionosférica, de la refracción troposférica, de la geometría y de los relojes.

En el caso de las dobles diferencias, la LC toma la forma

$$L_{6kl}^{ij} = \lambda_5 n_{5kl}^{ij} \quad (2.24)$$

Si los errores aleatorios del observable código son suficientemente bajos ( $< 1$  m) esta LC permite estimar la ambigüedad *wide-lane* independiente de la geometría y de la ionosfera. Cuando las observaciones de pseudorange presenten mucho ruido es un problema intentar aplicar esta combinación.

## 2.10 Segmento Espacial GPS- SPS (STANDARD POSITIONING SERVICE) SIS (SIGNAL IN SPACE) PS (PERFORMANCE STANDARD)

La constelación GPS, nominalmente, se basa en 24 lugares geoméricamente distribuidos en seis orbitas y en cada una de ellas contiene al menos cuatro satélites operacionales.

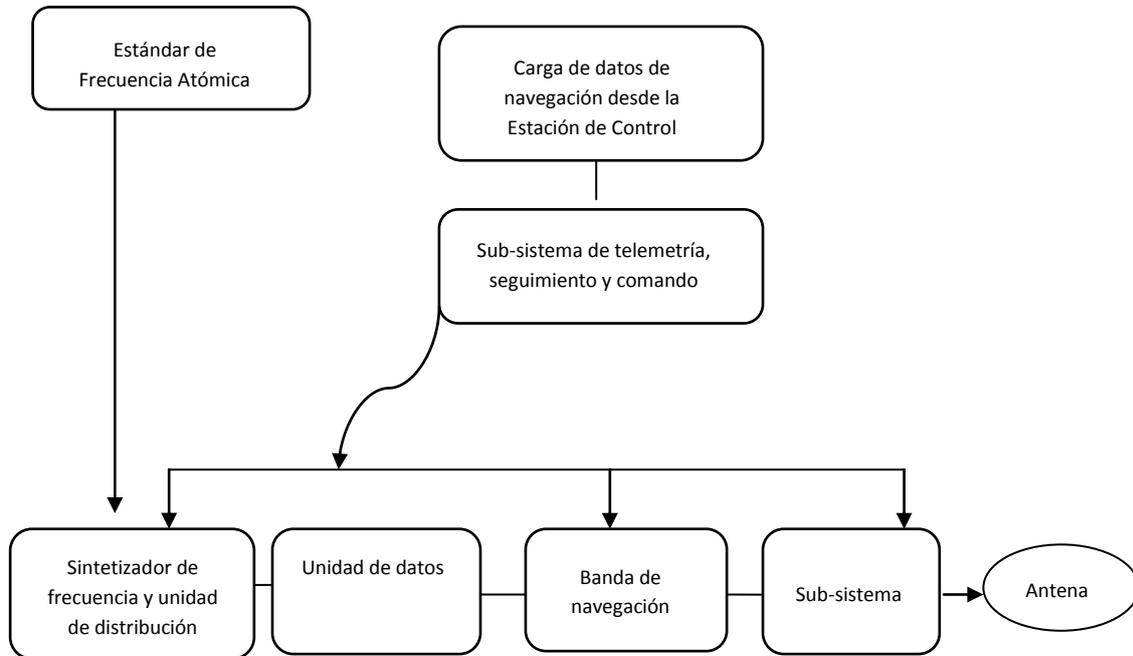


Fig. 2.13 Generación y transmisión de señal SPS

La frecuencia estándar atómica genera una señal de reloj nominal de 10.23 MHz. La señal se distribuye por la unidad de distribución y sintetizador de frecuencias hacia otros sub-sistemas. La unidad de datos de navegación recibe los datos cargados del segmento de control, a través del subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TT&C). La banda de navegación genera el PRN, en el cuál van los códigos y agrega el mensaje de navegación. El subsistema de banda L modula las secuencias binarias sobre las portadoras de fase L1 (1575.42 MHz) y L2 (1227.6 MHz) que son luego transmitidas a las antenas.

Cada satélite emite tres códigos PRN : el código de precisión P, que es el principal código; el código Y, que se utilizan en lugar del código P cuando el modo anti-spoofing está activado, y el código C/A (Coarse Acquisition) que se utiliza para la adquisición del código P o Y como una señal de alcance civil.

Los satélites han sido diseñados para proporcionar un servicio confiable durante un período de tiempo de 7,5 a 11 años. Los satélites requieren una mínima interacción con el segmento de control para permitir las correspondientes actividades de

mantenimiento sin interrupción de la señal. La actualización periódica del mensaje de navegación se diseñó para no provocar interrupciones en la señal espacial, durante esa carga.

## 2.11 Segmento de Control

El Sistema de Control de Operaciones (OCS) se compone de cuatro subsistemas principales, a saber:

- una estación de control principal (MS),
- una estación de control maestra de copia de seguridad (BMC),
- una red de cuatro antenas de tierra (GA),
- y una red de estaciones de monitoreo distribuidas a nivel globalmente- (MSs).

La Fig. 2.14 muestra la distribución y función de cada una

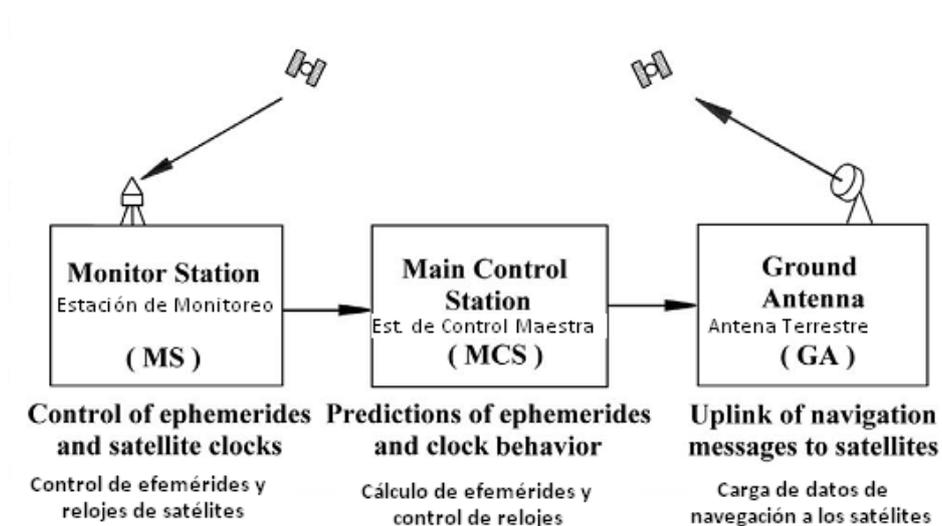


Fig. 2.14 Esquema de segmento de control

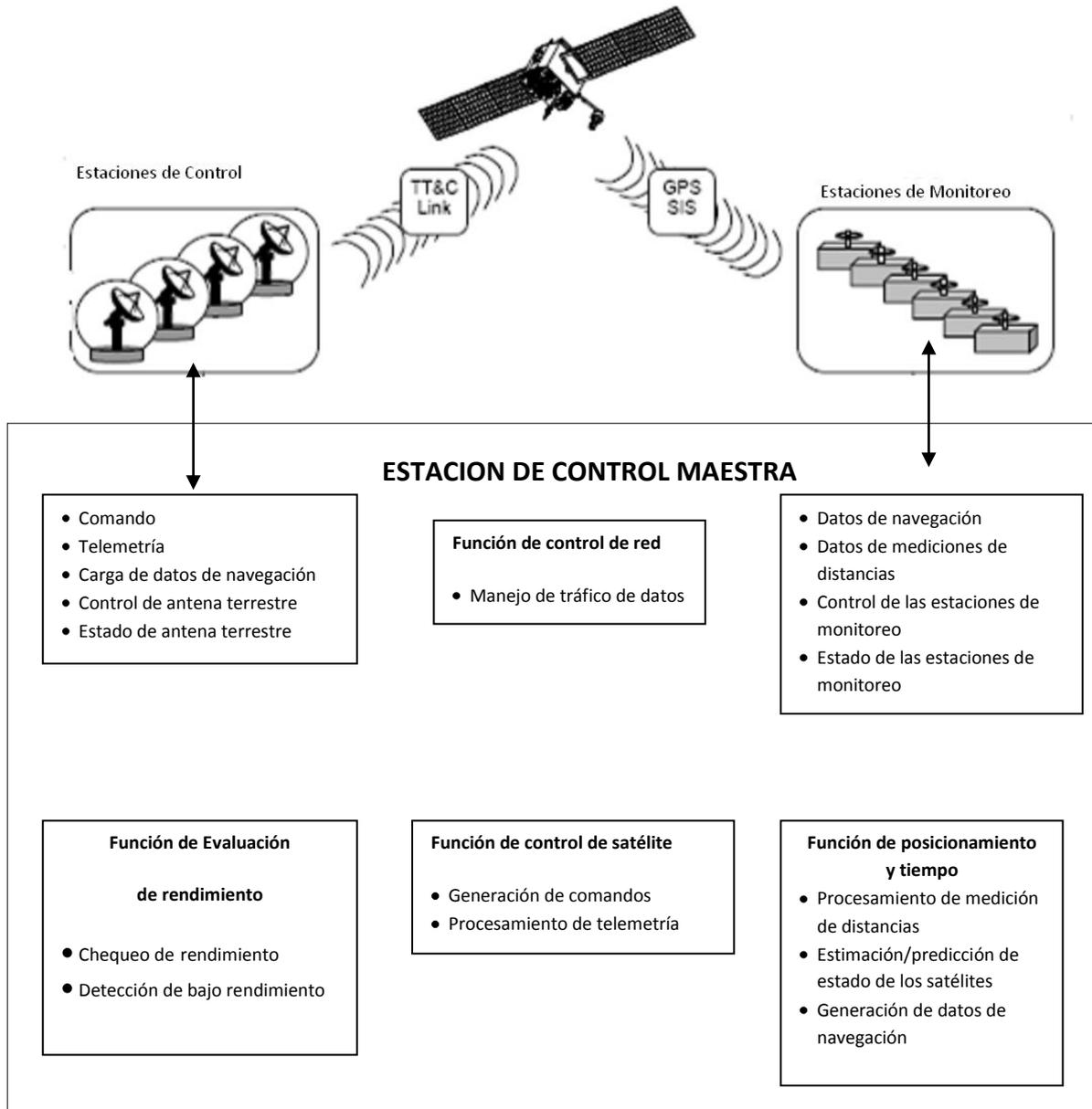


Fig. 2.15 Funciones de las estaciones de control y de monitoreo

La Fig. 2.15 detalla las funciones que cumplen las estaciones de control y de monitoreo.

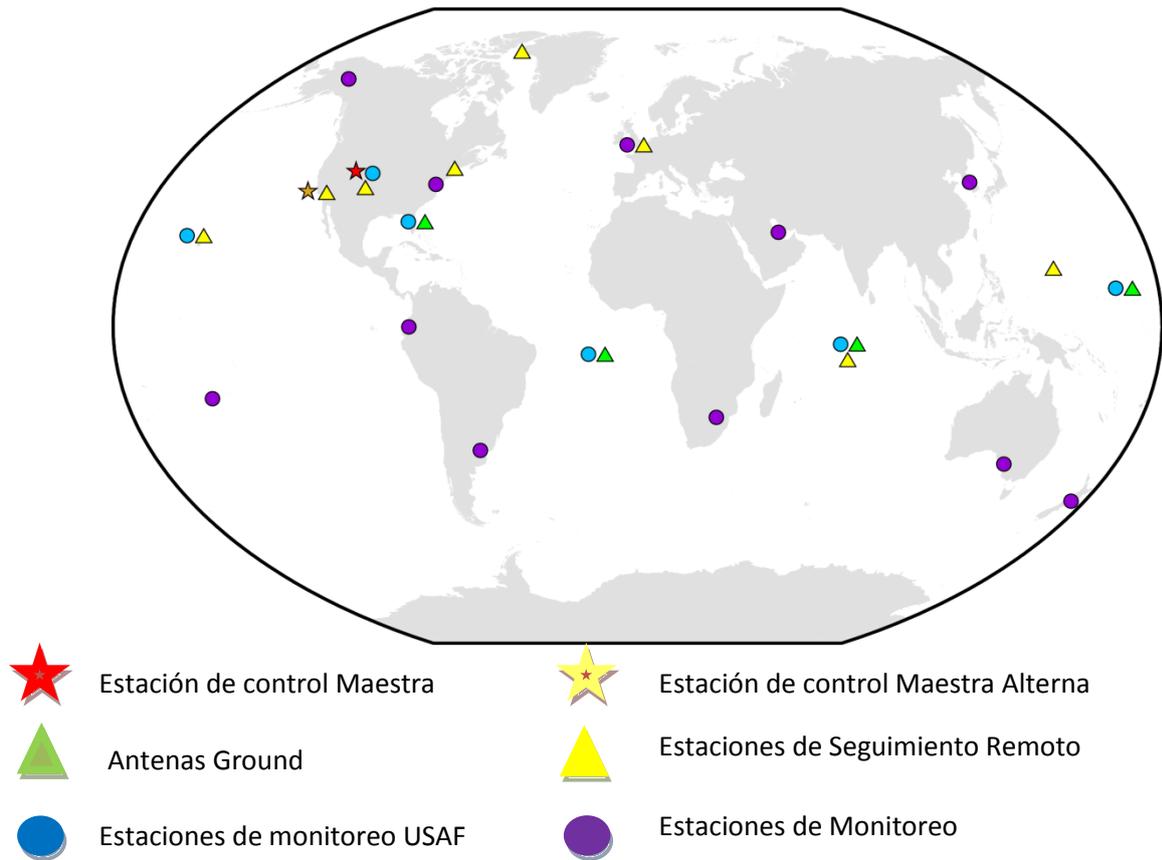


Fig. 2.16 Ubicación de estaciones de rastreo y control

En la Fig. 2.16 se observa distintos tipos de estaciones

La MCS se encuentra en la Base Aérea Schriever, Colorado, y es el nodo de control central de la constelación de satélites GPS. Las operaciones se mantienen durante las 24 horas del día, siete días a la semana durante todo el año. La MCS es responsable de todos los aspectos de comando y control de la constelación que incluyen:

- Bus del satélite de rutina y supervisión del estado de carga
- Mantenimiento de satélites y resolución de anomalías
- Manejo de GPS rendimiento del SIS como soporte de todas las normas de funcionamiento.

El sistema de control de operaciones ofrece la segunda línea de defensa contra las anomalías de la señal GPS. La primera línea de defensa contra las anomalías de las señales GPS, son los propios satélites. Los satélites automáticamente salen de servicio toda vez que aparezcan cualquier tipo de falla que pueda dar lugar a anomalías de la señal.

## 2.12 Segmento Usuario

### 2.12.1 Tipos de receptores

El segmento del usuario comprende el equipamiento necesario para las distintas aplicaciones de la tecnología GPS. Existe una gran variedad de receptores desde aquellos que tienen fines militares, científicos, cartografía, navegación y de recreación.

Los componentes básicos de un receptor GPS son:

- Antena con preamplificador,
- Sección de radio frecuencia (RF) y frecuencia intermedia (IF),
- Sección de rastreo y correlación,
- Microprocesador para control del receptor, procesamiento de datos, y ,
- Oscilador,
- Fuente de energía,
- Memoria e
- Interface con el usuario

En la etapa de observación un receptor GPS debe poder:

- Adquirir las señales,
- Distinguir los satélites que las generan
- Recibir las efemérides de los satélites
- Correlacionar las observaciones medidas, con la que el mismo genera, para poder estimar el tiempo de propagación o tiempo de vuelo de la señal
- Grabar en la memoria interna la información de medición y el mensaje de navegación, mientras dure la medición, para el caso de receptores que lo permitan,
- Avisar al usuario de una cantidad de satélites menor a la requerida.

A partir de estos datos puede, mediante el uso de un software de procesamiento adecuado:

- Estimar la posición del receptor y su rango de error
- Proveer un patrón de tiempo preciso
- Calcular la velocidad del receptor,

Los receptores GPS se pueden clasificar en varios grupos de acuerdo a diferentes criterios.

Uno de los criterios más utilizados es aquel que tiene en cuenta el tipo de dato que puede estar disponible con un receptor:

- ✓ código C/A (navegadores),

- ✓ código C/A y fase de la portadora L1 (topográficos),
- ✓ códigos C/A y P además de y fase de la portadora en L1 y L2 (geodésicos).

Una opción ya en desuso es la de receptores con código C/A y que observan portadoras en ambas frecuencias L1 y L2 pero no observan código P.

A continuación se da una reseña de los distintos tipos de receptores.

#### **2.12.1.1 Navegadores**

El tipo más popular de receptor GPS. Es una unidad pequeña (posible de sostener en una sola mano) con capacidad de dar la posición, velocidad y tiempo.

Son atractivos por su facilidad de uso, por la forma inmediata en que proveen posicionamiento y su bajo costo.

La posibilidad del replanteo, es decir de desandar un camino previamente marcado los han vuelto muy popular entre los excursionistas. El hecho de que algunos modelos tengan cartografía digital incorporada los han convertido en un elemento opcional para vehículos de gama media o alta. La posibilidad de guardar velocidad y ubicación ha permitido usarlos como una herramienta eficaz para controlar a flotas de vehículos. Existen una inmensa variedad de aplicaciones para estos equipos desde el rastreo de objetos hasta su utilización como relojes precisos.

El único observable que utiliza de la estructura de la señal GPS es el código C/A por lo que su exactitud varía entre los 5 a 10 metros en su posición horizontal y la correspondiente a la vertical, una vez y media más, recordando que la altura que brinda GPS está referida a una superficie matemática: el elipsoide terrestre.

Los navegadores más avanzados, permiten una fácil comunicación con otros dispositivos, como computadoras, laptops, teléfonos, etc. En algunos tipos de trabajos la precisión que tienen y el software correspondiente, permiten realizar relevamientos para proyectos cartográficos con uso de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

No existen muchas alternativas para mejorar la exactitud de estos equipos salvo mediante la utilización de sistemas de aumentación (SBAS) como WAAS o EGNOS (ver apartado 3.6). Algunos equipos se complementan teniendo embebidos en su interior barómetros, teléfonos celulares, equipos de comunicación UHF, brújulas electrónicas o giróscopos.

### **2.12.1.2 Topográficos y Geodésicos**

Estos receptores resuelven las limitaciones, en cuanto a precisión, que tienen los navegadores. Los navegadores tienen una precisión limitada, por dos razones:

- 1) No aprovecha “toda” la información emitida por los satélites, como el código P y las señales L1 y L2.
- 2) No guardan la señal para poder ser pos procesada

En esta clasificación se distinguen dos tipos de receptores: los mono frecuencias que reciben y almacenan código C/A y la fase de portadora L1 y los doble frecuencia que reciben y almacenan los códigos C/A y P y las fases de las portadoras L1 y L2.

Los receptores simple frecuencia, también llamados topográficos, tienen la ventaja de ser más económicos (un 40 % más baratos que los doble frecuencia) pero presentan tres desventajas importantes:

- a) No pueden mitigar bien el retardo ionosférico en el posicionamiento diferencial salvo para bases menores a los 30 km
- b) Al no poder combinar señales requieren tiempos de medición prolongados para resolver las ambigüedades
- c) No se puede realizar con ellos posicionamiento puntual preciso.

Sus aplicaciones se dan en el campo de la cartografía, la topografía de obra, la georeferenciación, el movimiento de suelos, etc.

Los receptores doble frecuencia en contraposición si pueden combinar señales razón por la cual pueden eliminar el sesgamiento ionosférico y generar estrategias para resolver rápidamente las ambigüedades Los receptores doble frecuencia son los utilizados no sólo para fines de cartografía, topografía, sino también para ser montados en aviones en conjunto con cámaras fotogramétricas y sobre todo para fines científicos que requieran precisiones milimétricas y/o distancias entre puntos medidos de más de 30 km.

**Técnicas de Posicionamiento GNSS, su evolución.**

**3.1 TÉCNICAS DE POSICIONAMIENTO**

El posicionamiento mediante GPS, puede ser realizado a partir de diferentes técnicas y observables. La Fig. 3.1 esquematiza una síntesis de las distintas técnicas aplicadas. Cada una de ellas tiene su correspondiente nivel de precisión que varían desde unos pocos metros hasta unos pocos milímetros.

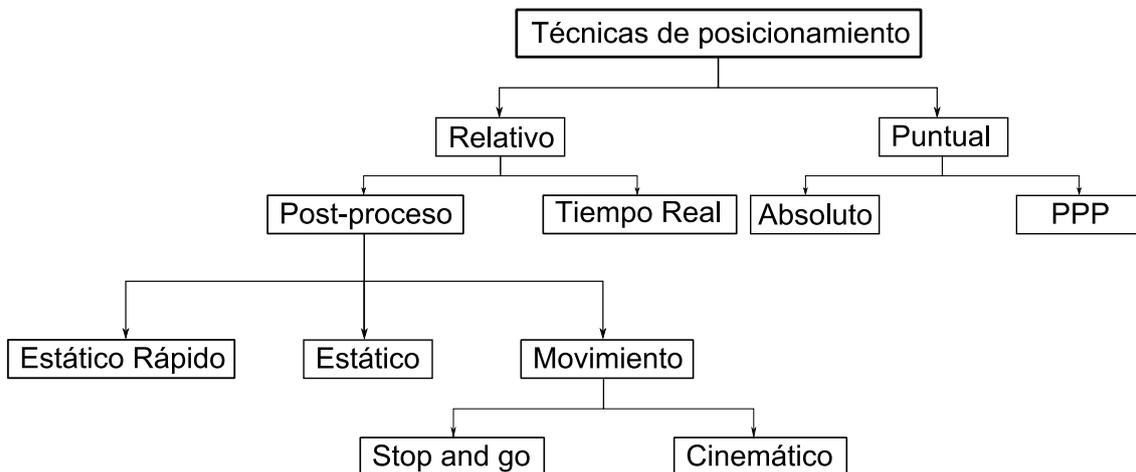


Fig. 3.1 Técnicas de posicionamiento

El tipo de observable es uno de los principales factores a tener en cuenta en el nivel de precisión deseado.

Normalmente, el posicionamiento con GPS se realiza utilizando la fase de la frecuencia portadora y/o la pseudodistancia. Al utilizar la fase, la precisión es del orden de algunos milímetros, por lo cual es un observable indispensable para obtener posicionamiento de mejor precisión. La pseudodistancia más bien se utiliza en posicionamiento con precisiones métricas.

Las técnicas de posicionamiento pueden ser clasificadas como estáticas y cinemáticas, dependiendo del estado (fijo o en movimiento) de los receptores, y su correspondiente procesamiento se puede realizar en tiempo real o en post-proceso.

Otra clasificación en cuanto a la metodología para determinar coordenadas es aquella de relevamientos relativos, aquellas en las cuales se coloca un receptor, que permanece fijo en el tiempo, al menos en una estación de referencia o base, y el otro u otros receptores móviles o rovers van cambiando de posición sobre los sitios cuyas coordenadas se quieren determinar.

En la tabla N° 3.1 se pueden observar las precisiones de las distintas técnicas de posicionamiento.

Técnica		Observación	Precisión (nivel de confianza 68 %)
Puntual	Absoluto	Pseudo distancia	15 m
	PPP (Posicionamiento Puntual Preciso)	Pseudo distancia y fase	0,02 m
Relativo	Estático	Pseudo distancia y fase	0,01 m a 1 ppm
	Estático rápido	Pseudo distancia y fase	1 a 10 ppm
	Semicinemático (Stop and go)	Pseudo distancia y fase	1 a 10 ppm
	Cinemático	DD Pseudo distancia y fase	1 a 10 ppm
	Tiempo real (RTK)	Pseudo distancia y fase	1 a 10 ppm

Tabla 3.1 Precisión de técnicas de posicionamiento

### 3.1.1 Posicionamiento puntual

Este tipo de relevamiento sólo requiere de un receptor. En este grupo se consideran el posicionamiento: Absoluto y Posicionamiento Puntual Preciso o también conocido como PPP. En el primer caso, el sistema referencial geodésico de las coordenadas está definido por la utilización de las efemérides transmitidas de los satélites. En el caso de las efemérides transmitidas, el sistema de referencia será el correspondiente a la constelación GNSS con la que trabaje el receptor. En el caso del

posicionamiento puntual preciso (PPP) el sistema de referencia utilizado es el correspondiente al sistema de referencia de las efemérides ultrarrápidas.

### **3.1.2 Posicionamiento Absoluto**

Este posicionamiento determina coordenadas utilizando sólo código C/A. Las precisiones que se obtienen son bastante inferiores a aquellas que pueden ser obtenidas utilizando otras técnicas, por cuanto apenas los errores de reloj del satélite y del receptor son modelados en la solución. No es necesario contar con elementos fuera del receptor. Las coordenadas y el error de los relojes de los satélites son determinados a través de las efemérides transmitidas. En cuanto a las coordenadas y al error del reloj del receptor, son calculadas mediante un ajuste de las observaciones de pseudodistancia utilizando el código C/A de al menos cuatro satélites.

Esta metodología, desarrollada para ser utilizada a tiempo real, es aprovechada para levantamientos que requieren precisiones métricas y puede ser llevada a cabo con cualquier tipo de receptor.

### **3.1.3 Posicionamiento por punto preciso**

El primer servicio de uso civil para GPS se llamó SPS (Standard Positioning Service), y se basaba en observaciones de pseudorange de simple frecuencia usando el código C/A y las efemérides transmitidas. Al trabajar con navegadores y con una buena disponibilidad de satélites podían alcanzarse precisiones de 3-5 m en horizontal y de 6-10 m en vertical.

El posicionamiento puntual preciso (PPP) es una técnica, alternativa a los métodos diferenciales, en la cual los usuarios con sólo contar con un solo receptor, pueden alcanzar precisiones decimétricas o centimétricas, comparadas con la técnica diferencial. Esta técnica es de bajo costo y además no necesita de estaciones de referencia. La misma es muy útil para aquellos usuarios que no tienen un conocimiento y/o experiencia detallada sobre software de procesamiento.

La técnica PPP es una técnica de posicionamiento absoluto, que puede ser empleada tanto para receptores geodésicos como topográficos, en la cual un receptor recibe señal de varios satélites (generando el archivo de observación), y da la posición en el mismo marco de referencia de los satélites (dadas por las efemérides precisas). Es posible mejorar la precisión del posicionamiento absoluto al disponer de las efemérides precisas y los errores de reloj de los satélites (ambos pueden ser obtenidos desde el IGS), junto con las portadoras de fase y las mediciones de pseudorange y también con otras correcciones tales como el offset de las antenas de los receptores, carga oceánica, efectos atmosféricos y desplazamientos del sitio.

En esta técnica, algunas investigaciones han logrado establecer que si el error de multipath es mínimo, las soluciones PPP de receptores topográficos son similares a aquellas de los geodésicos. Así mismo, el contar con un buen modelo troposférico permite mejorar las soluciones de los receptores de simple frecuencia. [ELEMENTS OF GPS PRECISE POINT POSITIONING, Boonsap Witchayangkoon The University of Maine, December, 2000]

Es evidente que los navegadores no están preparados para ejecutar este tipo de posicionamiento, por cuanto no tienen las condiciones para almacenar los datos correspondientes a la frecuencia L1 para un posterior procesamiento.

Algunos servicios gratuitos de PPP permiten el procesamiento de observaciones GNSS y proveen resultados tanto estáticos como cinemáticos.

#### **3.1.4 Posicionamiento relativo**

En este tipo de posicionamiento, las coordenadas son determinadas en relación a un punto de coordenadas conocidas, punto base, estación de referencia y/o estaciones permanentes GPS. Se utilizan al menos dos receptores que estén recibiendo señales de satélites en forma simultánea, de tal forma que uno de los receptores esté ubicado en el punto base o estación de referencia.

Con esta técnica es posible disminuir, eliminar o compensar errores, a través de las conocidas simples, dobles y triples diferencias, tanto en código como en fase, de las observaciones recibidas simultáneamente por los receptores que ocupan las dos estaciones.

En condiciones de ionosfera “calma”, los errores atmosféricos y de órbita de los satélites son prácticamente eliminados en relevamientos de líneas base de hasta 10 km, proporcionando inclusive la resolución de ambigüedades.

Con receptores doble frecuencia, es posible reducir los efectos de la ionosfera, en líneas base, mayores a 10 km. Aquellos usuarios que cuentan con receptores simple frecuencia, tienen la posibilidad de aplicar modelos regionales ionosféricos.

Existen modelos ionosféricos y troposféricos que permiten reducir el efecto de estas capas sobre las observaciones. Se encuentran presentes en varios software de procesamiento modelos ionosféricos y troposféricos que pueden ser aplicados a las observaciones.

Para aquellos posicionamientos donde se necesita una mayor precisión, se utilizan efemérides precisas y errores de reloj, cuyos archivos pueden ser obtenidos desde servicios internacionales como el IGS.

Al utilizar modelos adecuados a cada tipo de error, es posible determinar las coordenadas con precisiones de pocos milímetros. Esta técnica es la más usada en aplicaciones geodésicas.

El posicionamiento relativo puede ser subdividido en estático, estático rápido, semi-cinemático y Cinemático.

### **3.1.5 Posicionamiento relativo estático**

En este tipo de posicionamiento, tanto el receptor ubicado en la base o estación de referencia, como aquel que está en el punto en el cual se quiere determinar sus coordenadas, permanecen fijos, sin moverse del lugar. El tiempo mínimo de observación está en función de la distancia entre los puntos donde se ubican los receptores, como así mismo del tipo de receptor con el que se realicen las observaciones.

Cuando las líneas base sean menores a 10 km, y estando los receptores colocados en lugares donde no haya obstrucción y bajo condiciones ionosféricas favorables, 30 minutos son suficientes para conseguir la resolución de ambigüedades, con receptores de simple frecuencia (L1). Por supuesto, de no cumplirse estas condiciones, el tiempo de observación mínimo para tener una buena resolución de ambigüedades será mayor.

Los nuevos equipamientos de simple frecuencia, permiten que el límite de las líneas base que se pueden medir llegue hasta los 20 km. Para distancias mayores, es conveniente la utilización de equipos doble frecuencia (L1 y L2). Además si se combina con los datos correspondientes a errores de reloj y efemérides precisas, es posible conseguir precisiones de hasta 1 ppm.

### **3.1.6 Posicionamiento relativo estático-rápido**

También conocido como pseudocinemático. Es similar al anterior. La diferencia radica en el tiempo de observación. En este caso, los receptores permanecen fijos, tiempos menores a los recomendados para el estático. Este tipo de posicionamiento es adecuado cuando se requiere alta productividad, y como alternativa al método cinemático, por cuanto entre sesiones, no es necesario que el receptor esté encendido y recibiendo señal en todo momento y sobre todo en lugares donde existen obstrucciones. Esta es una técnica muy útil para relevamientos de ingeniería tanto por la precisión que se puede obtener como por el tiempo para relevar puntos (bastante más rápido que en la técnica estática). Es recomendable para líneas cortas, menores a 10 km donde los errores sistemáticos tales como los atmosféricos y los de órbitas, al procesar se consideran del mismo orden y pueden ser eliminados,

### **3.1.7 Posicionamiento relativo semicinemático (stop and go)**

El posicionamiento relativo semicinemático, stop and go o pseudoestático, es un estadio intermedio entre el posicionamiento estático y el cinemático. Es similar al estático rápido, pero manteniendo en todo momento el receptor encendido de tal forma que reciba y almacene los datos de observación durante todo el tiempo del relevamiento y además en el tiempo de observación en cada punto que evidentemente será bastante menor al utilizado en estático-rápido.

El desarrollo de la tecnología de los receptores así como el software correspondiente, han permitido que esta técnica tenga una amplia difusión por la rapidez del relevamiento en cada punto manteniendo buenas precisiones.

### **3.1.8 Posicionamiento relativo cinemático**

Esta forma de posicionamiento requiere un receptor en un punto de referencia y otro receptor, encendido en forma continua y sin perder señal, está en movimiento de tal forma que el resultado de este procedimiento son las coordenadas de cada uno de los puntos por donde va pasando el receptor, estableciendo una trayectoria descrita por una serie de puntos. La cantidad mínima de satélites juega un papel muy importante en el postprocesamiento.

## **3.2 EVOLUCIÓN DEL POSICIONAMIENTO RELATIVO ESTÁTICO**

En el apartado 3.1.5, se describió la técnica de posicionamiento relativo estático. En ella una vez realizada la medición en dos puntos, uno de ellos utilizado como base y el otro como móvil, se bajaban los datos correspondientes y se procedía al procesamiento de ellas mediante el software correspondiente.

En la evolución propia de tecnología de este tipo, apareció una variante que es el utilizar los datos de un receptor, ubicado en un punto de coordenadas conocidas, que recibe y almacena datos durante las 24 horas del día. La disponibilidad de los datos y el acceso a los mismos, permite que los usuarios ya no necesiten de dos receptores (uno como base) en sus mediciones y utilicen los datos de ese receptor “fijo” para el procesamiento.

Se explica a continuación los conceptos básicos de lo que se conoce como Estación de referencia de medición continua.

### **3.2.1 Estación de referencia de medición continua (EP GPS)**

El acrónimo inglés CORS (estación de referencia de medición continua) hace referencia a un tipo especial de receptor geodésico doble frecuencia. Estos equipos se

hallan fijos a una monumentación estable operando en forma continua con un intervalo de registro estándar de, por ejemplo, 30 segundos. Habitualmente el equipo tiene embebido un computador, lo que facilita la administración, almacenamiento, distribución y manipulación de las observaciones; pudiendo realizarse todas estas tareas en forma remota y desatendida. Actualmente es cada vez más común que estos equipos emitan el flujo de datos (streaming) que observan vía internet mediante la tecnología NTRIP (véase apartado 3.4)

Estos equipos son los de mejor calidad del mercado ya que cumplen con los estándares más exigentes de exactitud, integridad y continuidad para minimizar la falta de disponibilidad de los datos.

Las estaciones presentan servicios en tres áreas:

- Ofreciendo datos crudos a los usuarios que requieran realizar posicionamiento diferencial.
- Estableciendo el marco de referencia de orden cero para una región
- Proveyendo la información necesaria para realizar investigaciones científicas relacionadas con: movimientos de la corteza terrestre, la atmosfera, los parámetros de rotación de la Tierra, etc.

Además son la fuente de información que se utiliza para realizar las mejores determinaciones de efemérides y de correcciones a los relojes de los satélites GPS.

El nombre más conocido en Argentina para las estaciones de referencia de medición continua es el de estaciones activas o estaciones permanentes (EP) y este último será el que usaremos a partir de ahora.

### **3.2.2 Red de Estaciones Permanentes**

La tecnología GNSS en conjunto con las estaciones permanentes (EP) ha provocado un cambio en la modalidad de ejecución de los trabajos geodésicos.

Unos años atrás, se contaba con redes geodésicas formadas por un conjunto de puntos, con una materialización pensada para durar en el tiempo, cuyas coordenadas eran conocidas, conformando los marcos de referencia locales. Los mismos tenían una solución regional. Estos marcos de referencia locales necesitaban ubicar con precisión geodésica el geocentro, materializando el sistema de referencia mediante redes de triangulación y/o trilateración, adoptando los conocidos puntos "Datum". Estas redes eran "horizontales" y los puntos que conformaban la red altimétrica no coincidían necesariamente con los puntos de la red horizontal. Para utilizar estos puntos, hoy en

día conocidos como marcos pasivos era necesario trasladarse a los mismos, ocuparlos y medir sobre los mismos.

Hoy en día el conjunto de estaciones permanentes contribuyen a materializar el marco de referencia global, donde sus coordenadas, en función del tiempo, definen en cada instante el sistema de referencia Geocéntrico o Global.

El ITRS es hoy el sistema de referencia terrestre global materializado con mayor precisión y exactitud a través de los ITRF. La materialización de los sistemas de referencia consiste en aplicar un determinado modelado para obtener las posiciones y el movimiento de un cierto número de puntos que definen el Marco de Referencia Convencional (MRC). Por lo tanto, la materialización se basa en un conjunto de puntos donde sus coordenadas en función del tiempo se definen para cada instante en el Sistema de Referencia Convencional, a partir de observaciones. Los ejes cartesianos espaciales convencionales que definen el marco de referencia están implícitos en las coordenadas de sus vértices.

Este marco está conformado por un conjunto de estaciones distribuidas en todo el mundo en las que se realizan observaciones mediante al menos una de las técnicas VLBI, SLR, GPS o DORIS. Las materializaciones del ITRF, o marco de referencia terrestre internacional constan de un catálogo de estaciones con coordenadas y velocidades a las que se asocia una época de referencia.

Algunos años atrás cada país contaba con su propio sistema de referencia local. Con el advenimiento de la tecnología GPS ha sido posible que cada país fuera cambiando las redes pasivas por redes activas.

El IGS (International GNSS Service), es un servicio internacional en el que participan activamente más de 200 agencias a lo largo del mundo. Reúne recursos y datos de EP GPS y GLONASS para generar productos precisos. Tiene como misión proveer datos de la más alta calidad para apoyar las investigaciones científicas, aplicaciones multidisciplinarias y educativas.

En la Fig. 3.2 se puede observar la distribución global de EP del IGS en SIRGAS.

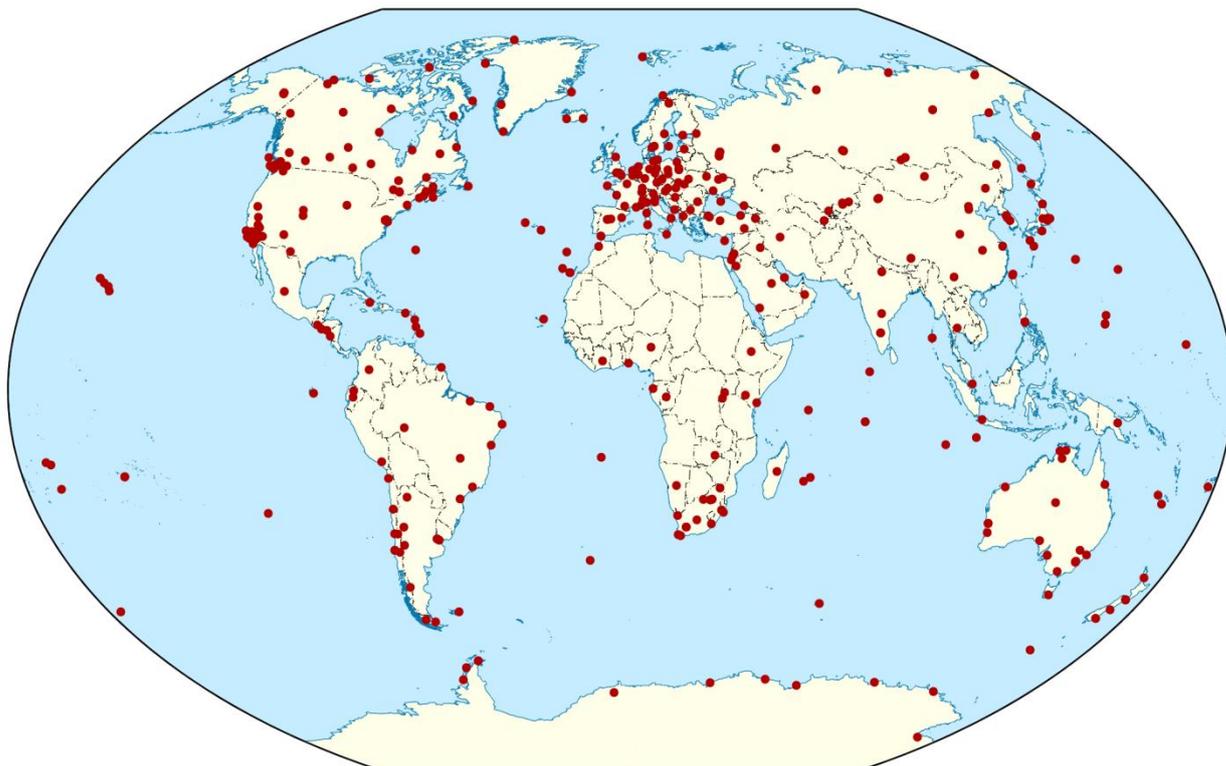


Fig. 3.2 Distribución de EP de IGS

### 3.3 Evolución de las Estaciones Permanentes GPS en la región

#### 3.3.1 SIRGAS-CON

La evolución de la tecnología GPS también implicó que metodologías, software asociados e instrumental también fueron mejorando. Tal como vimos anteriormente, el desarrollo de las EP GPS también acompañaron esos cambios. Esos cambios tuvieron que ver no sólo en instrumental, programas de manejo, comunicaciones sino también en un mayor conocimiento de las potencialidades que de ellas se pueden aprovechar.

A lo largo de todo el continente, SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), ha ido fortaleciendo la red humana, mediante asesoramiento a las instituciones geodésicas nacionales y capacitación, posibilitando la concreción de acciones en forma conjunta entre instituciones de distintos países, para tener un solo sistema de referencia continental geocéntrico. Con ello también se ha fomentado la instalación e incorporación de EP GPS. La Fig. 3.3 muestra la ubicación de EP incorporadas a SIRGAS (red SIRGAS-CON) a diciembre del 2012.



Fig. 3.3 Ubicación de EP GPS de SIRGAS

A continuación se representa la evolución de EP GPS que se ha ido incorporando a la Red SIRGAS desde el año 1992 hasta la fecha. Cada país integrante de SIRGAS ha ido contribuyendo con la instalación de EP GPS en su territorio. Primero en aquellos lugares que contaban con las condiciones necesarias no sólo para la instalación sino también de los recursos humanos preparados para atenderlas y de las posibilidades de comunicación. De esta forma la densificación de la Red SIRGAS se acerca, en algunas partes del continente, a la distancia ideal entre ellas de 200 km.

La Fig. 3.4 esquematiza la incorporación anual de EP GPS a la red SIRGAS-CON y la cantidad acumulada de las mismas desde el año 1992 hasta octubre del 2012. Cada país integrante de SIRGAS ha ido contribuyendo con la instalación de EP GPS en su territorio. Primero en aquellos lugares que contaban con las condiciones e infraestructura necesarias para la instalación y mantenimiento y disponían de recursos humanos preparados para atenderlas. Luego a medida que se fue brindando

capacitación y se comenzaron a percibir las bondades de contar con dicha red se comenzaron a densificar por los demás países. A octubre del 2012 SIRGAS-CON cuenta con alrededor de 300 estaciones operativas con una cobertura media de una estación por cada 200 km.

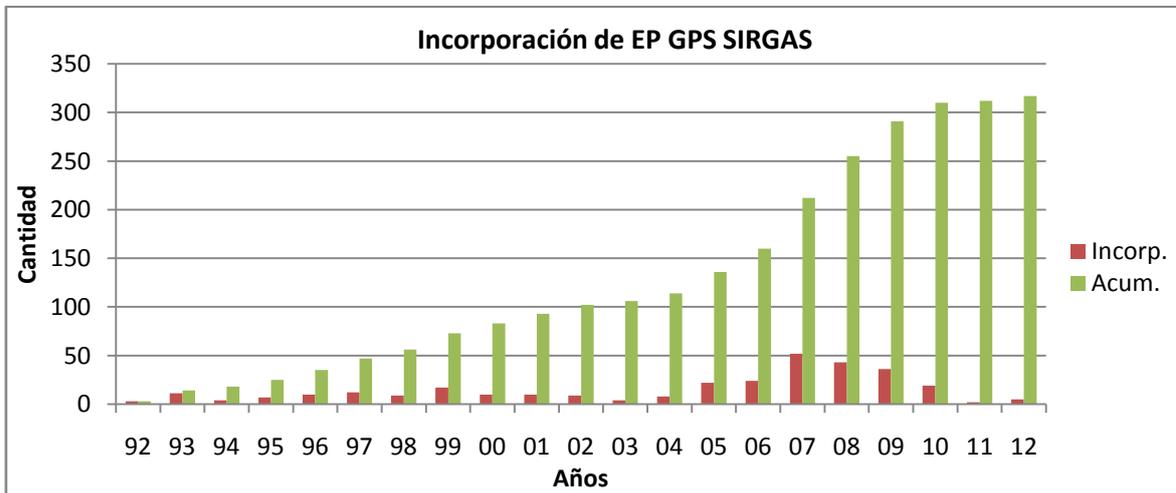


Fig. 3.4 Incremento de EP GPS SIRGAS

### 3.3.2 Argentina

Nuestro país ha sido y sigue siendo uno de los principales países que contribuyen en la incorporación de EP GPS en Latinoamérica. Un significativo número de instituciones nacionales y provinciales, universidades, centros de investigación, asociaciones y empresas, han contribuido para fortalecer esta red, avalando el interés social sobre estos marcos activos. A finales de los años 90 Argentina contaba con sólo 6 EP, cuya distribución se ve reflejada en la Fig. 3.5.



Fig. 3.5 Distribución de EP GPS en Argentina a octubre de 1990

Con el transcurso del tiempo se densificó la Red de EP GPS en Argentina, y las mismas se fueron integrando a la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo, RAMSAC. En la Fig. 3.6 se muestra la incorporación de nuevas EP GPS a la red RAMSAC.



Fig. 3.6 Incorporación de EP GPS a la red RAMSAC

La incorporación de nuevas EP GPS, ha permitido una mejor distribución territorial, de tal forma de poder brindar servicio a una mayor cantidad de usuarios. La Fig. 3.7 muestra la distribución actual de ellas.

Como puede notarse, existe una gran parte del territorio nacional que no tiene una buena cobertura. La zona sur de nuestro país es aquella sobre la cual debería realizarse esfuerzos para la instalación y una mejor densificación de EP GPS.

El incremento de EP GPS ha sido acompañado con la correspondiente formación de recursos humanos. Esto ha permitido que la Argentina cuente con dos centros de procesamiento de datos GNSS de la Red SIRGAS, CIMA (Centro de procesamiento en Ingeniería, Mendoza, Argentina) e IGN (Centro de procesamiento del Instituto Geográfico Nacional).



Fig. 3.7 Distribución de EP GPS en Argentina a octubre de 2012

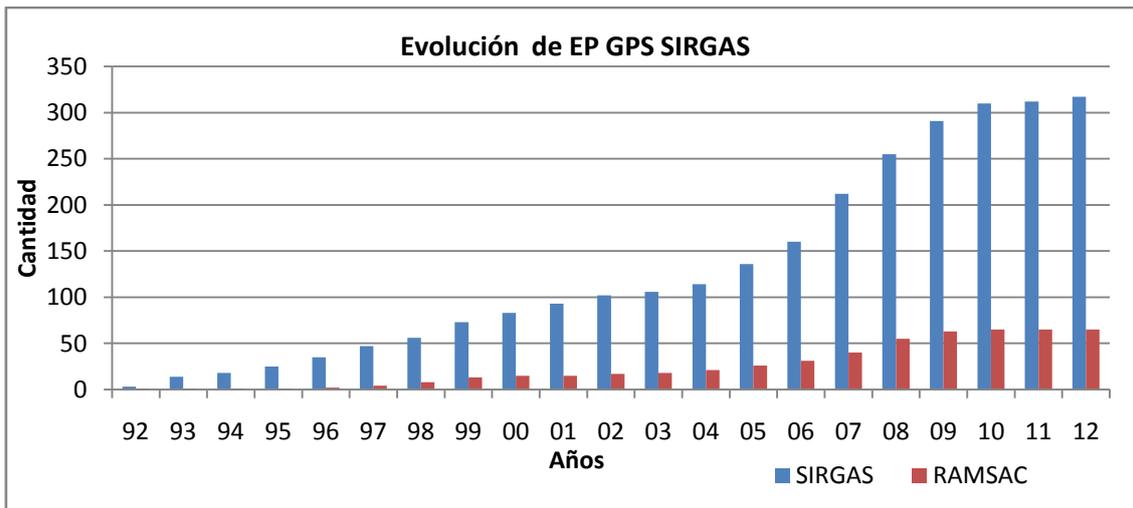


Fig. 3.8 Evolución de SIRGAS-CON –Red RAMSAC

La Fig.3.8 muestra la evolución de la red SIRGAS-CON y de la red RAMSAC.

Como se puede notar, el número de las EP GPS en el continente se ha incrementado notablemente en los 10 últimos años. Esta tendencia también se presentó en la Argentina.

### 3.4 POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL A TIEMPO REAL

Es una técnica que con el desarrollo de la tecnología GNSS y de las comunicaciones ha ido fortaleciéndose como una de las técnicas más utilizadas en aplicaciones de ingeniería, en registros hidrográficos, explotación minera, monitoreo de vehículos, control de maquinarias, etc.

También conocida como RTK (Real Time Kinematic) es una técnica de posicionamiento cinemático en tiempo real, que da respuesta a trabajos que necesitan que las coordenadas de puntos de relevamiento y/o replanteo, se obtengan instantáneamente, sin la necesidad de un postprocesamiento de los datos.

Esta técnica está basada en: a) transmisión de datos de fase y código de una estación de referencia o estación base a una o varias estaciones móviles a tiempo real, b) resolución de ambigüedades en la estación móvil mientras la antena del mismo está en movimiento y la determinación confiable, a tiempo real, del vector línea base-móvil. Una configuración común de RTK comprende un receptor ubicado en un punto de referencia o de coordenadas conocidas que transmite los datos, utilizando un sistema de comunicaciones, a otro receptor móvil que cambia de posición de acuerdo al tipo de tarea que realiza. Los receptores pueden ser de simple o doble frecuencia. Los últimos facilitan la resolución de ambigüedad. El software se ejecuta en el receptor o en un procesador externo. En general los equipos utilizados son similares en ambas estaciones.

Esta técnica exige la disponibilidad de un receptor GNSS y un dispositivo adecuado de comunicación ubicado en una estación de referencia y/o punto con coordenadas conocidas.

El empleo de las correcciones diferenciales permite minimizar la influencia de los errores debidos a la distancia entre la estación base y la móvil. Entre esos errores se encuentran los debidos a: al reloj del satélite, a las efemérides y a la propagación de la señal en la atmósfera.

Existen varias formas de transmitir una señal corregida de la estación base a la estación móvil. La manera más popular de alcanzar una transmisión de señales en tiempo real y de bajo costo es utilizar un módem de radio, típicamente en la banda UHF. Esta forma restringe el uso de esta técnica a bases cortas (hasta 10 km).

Hoy en día, y debido a la disponibilidad y popularidad de la comunicación vía GPRS (por vía de internet celular móvil), se aplica esta técnica entre la base (estación de referencia o punto de coordenadas conocidas), y el móvil. Esta forma de posicionamiento diferencial a tiempo real es la que se aplica en la técnica conocida como NTRIP.

#### **3.4.1 NTRIP (Network Transportation of RTCM via Internet Protocol)**

En los últimos años los avances del posicionamiento satelital se han orientado principalmente hacia las técnicas a tiempo real. Las redes de estaciones GNSS continuas se han convertido en generadoras de correcciones diferenciales tanto de código como de fase para optimizar el denominado “Posicionamiento Instantáneo” orientado principalmente a resolver problemas de navegación y al mejoramiento de la precisión del posicionamiento de fase a tiempo real. Los métodos clásicos tienen limitaciones en cuanto a cobertura de la señal y su elevado costo. La transmisión de correcciones se realizaba originalmente mediante enlaces de radio (UHF o VHF), con grandes limitaciones espaciales. El desarrollo de tecnologías de comunicación e Internet Radio, para propósitos de radiodifusión y transmisión de datos multimedia a través de Internet, ha permitido desarrollar una técnica que subsana las dificultades mencionadas.

NTRIP permite el envío de datos de corrección diferencial y otros tipos de datos GNSS, a través de Internet, a simultáneos usuarios fijos o móviles. Si bien el nombre del estándar se refiere a datos RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services), cabe mencionar que además se pueden transmitir otros tipos de datos de sistemas de navegación satelital en diferentes formatos. El envío de estos datos se realiza ya sea a receptores fijos conectados a Internet a través de una red alámbrica, o a receptores móviles conectados a través de redes de telefonía móvil o WIFI.

### **3.4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE NTRIP**

El desarrollo de NTRIP fue iniciado por el Organismo Federal Alemán de Cartografía y Geodesia “BKG” junto a la Universidad de Dortmund dentro del marco de trabajo del proyecto piloto “EUREF-IP”. EUREF es la Sub-Comisión Marco de Referencia para Europa de la Asociación Internacional de Geodesia.

La aplicación principal es el envío de correcciones diferenciales en formato RTCM-104 ya sea correcciones RTK (5 kbit/s) o DGNS (0,5 kbit/s). También está diseñado para transmitir otros tipos de datos de sistemas de navegación satelital, como por ejemplo: datos crudos (4 kbit/s); correcciones de los sistemas de aumentación basados en satélites en formato RTCA (0,1 kbit/s); información de las órbitas de los satélites en formato SP3 (6 kbit/s); datos RINEX (6 kbit/s). El ancho de banda requerido, de 0,1 a 6 kbit/s es relativamente pequeño en comparación a las aplicaciones usuales de Internet que necesitan unos 24 kbit/s a 128 kbit/s para la transmisión de audio, lo cual es una ventaja para NTRIP.

### **3.4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA RTK NTRIP**

#### **3.4.3.1 NTRIP SOURCE**

“Ntrip Source” es el componente del sistema que genera el “data streams” o flujo de datos desde una ubicación específica cuyas coordenadas son conocidas, y puede tratarse de un único receptor o de varias estaciones permanentes conectadas en red. Un NtripSource singular consiste en un receptor GNSS que provee datos continuamente desde una estación permanente cuyas coordenadas son conocidas, la solución obtenida es una solución de base singular.

Cada Ntrip Source se identifica con un “mountpoint” que es el lugar en el servidor donde se pondrá el archivo que contendrá el streaming. NtripCaster es quien define los mountpoints y organiza todos los NtripSources disponibles en una tabla denominada “source-table”. Esta tabla contiene información de los streams de datos, de las redes de streams y de los broadcasters disponibles.

Los parámetros que describen los atributos del streams de datos en una source-table son: el tipo de registro, el mountpoint, el identificador de la fuente (ej.: nombre de la ciudad donde se localiza la estación permanente), formato de los datos, detalles del formato de los datos, se indica si los datos contienen información de fase de la portadora, el sistema de navegación, la red, el país, latitud y longitud aproximada en caso de que se envíe una sentencia NMEA (National Marine Electronics Association), el tipo de solución (de base singular o de red), el generador del stream de datos, el algoritmo de compresión, el esquema de autenticación, si se paga o no una cuota de usuario para recibir datos, velocidad de transmisión de datos, e informaciones diversas. Estos atributos están definidos en el NtripServer para cada NtripSource.

La Fig. 3.9 muestra un esquema de los elementos que componen el sistema RTK NTRIP.

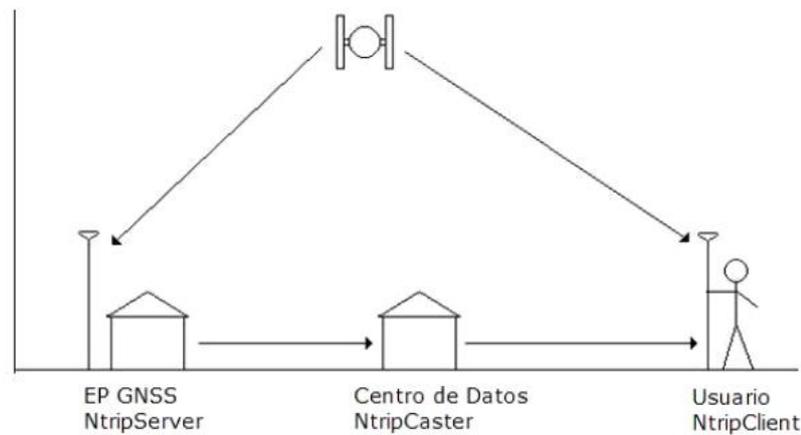


Fig. 3.9.Sistema RTK NTRIP

#### 3.4.3.2 NTRIP SERVER

NtripServer es un programa que corre en una PC convencional y que envía datos de correcciones que se recibieron en un receptor a través del puerto serial de comunicaciones. Además puede tomar los datos desde un servidor, un archivo u otro caster; y luego enviarlos a NtripCaster.

NtripServer es utilizado para transferir datos GNSS desde NtripSource a NtripCaster. Antes de transmitir los datos GNSS al NtripCaster usando una conexión TCP/IP, el NtripServer envía una solicitud al mountpoint vía HTTP 1.1 (Hypertext Transfer Protocol). Después de establecerse la conexión los datos pueden ser enviados a través de TCP/IP, Protocolo de control de transmisión (en inglés Transmission Control Protocol) [Lenz, 2004].

Cabe mencionar que el protocolo NTRIP puede ser usado para el transporte de datos RTCM de una estación de referencia virtual. Los datos provenientes de dicha estación de referencia representan un único NtripSource y pueden ser transmitidos por NtripServer. [RTCM Paper 17-2004/SC104-331].

#### 3.4.3.3 NTRIPCASTER

NtripCaster es el componente de software central, está basado en el programa "Internet Radio Icecast" bajo la Licencia Pública General GNU.

NtripCaster actúa como: stream-splitting dividiendo el flujo de datos, como broadcasting transmitiendo datos, y como administrador de la source-table,

mountpoints, contraseñas, control del acceso de clientes autorizados, publicidad y estadística de datos. Además, al evitar el contacto entre NtripServer y NtripClient, NtripCaster actúa como un elemento de seguridad que protege a los proveedores de datos.

Es importante tener presente que las tecnologías de comunicación “IP-streaming” para propósitos de radiodifusión (broadcasting) son las bases del software de Internet Radio. El tener la oportunidad de utilizar recursos de Internet Radio ya existentes, y sólo difundir datos GNSS, es una ventaja significativa en el desarrollo de NtripCaster [Test Results of an Internet RTK System; Chen, Li, Weber; 2004].

#### **3.4.3.4 NTRIP CLIENT**

Para recibir un flujo de datos en tiempo real vía Ntrip, es necesario un software cliente. Éste puede ser un software independiente o un componente de una aplicación. Por lo general, NtripClient es parte de una terminal de aplicación, por ejemplo un Pocket PC, un teléfono móvil, o un receptor GNSS.

NtripClient se comunica con NtripCaster a los efectos de solicitar autenticación de usuario, para recuperar una lista de estaciones de referencia activas (source-table) y para recepción de datos GNSS. Además, NtripClient envía datos, ya sea, al receptor remoto RTK GPS o al software de procesamiento de RTK, para el cálculo de la posición de la antena del rover.

NtripClient consta de:

- ✓ Un componente para recibir y enviar datos desde y hacia NtripCaster con el fin de autenticación de usuarios, actualización de sourcetable, y recepción de datos NTRIP desde el NtripCaster.
- ✓ Un componente para decodificar el stream de datos.
- ✓ Un componente para utilizar el stream de datos, en el interior de la terminal de usuario, por ejemplo para el cálculo de las posiciones RTK, o transmitidos a un receptor remoto RTK
- ✓ Una Interface Usuario

[Chen, et all; 2004]. [Test Results of an Internet RTK System; Chen, Li, Weber; 2004]

### 3.5 Desarrollo y evolución de servicio RTK NTRIP en Argentina

El Instituto Geográfico Nacional ha decidido ofrecer un servicio de envío de correcciones GNSS en tiempo real. Este paso representa una de las mejoras más importantes en la infraestructura de su red de estaciones GPS. El servicio conocido como RAMSAC-NTRIP, ofrece correcciones diferenciales de código, o fase para las portadoras L1 y L2.

Los usuarios que posean algún radioenlace (generalmente telefonía celular) pueden realizar posicionamiento diferencial a tiempo real gracias a este servicio.

Actualmente el caster de NTRIP del IGN está ubicado en la sede central del organismo, en la ciudad de Buenos Aires, pero también existen casters experimentales en las Universidades de Rosario y Montevideo (Uruguay).



Fig. 3.10 Ubicación de EP GPS con tecnología NTRIP en Argentina

### 3.6 Sistemas de aumentación (SBAS)

El uso de los sistemas GNSS y GPS en particular creció de tal manera que fue necesario pensar una tecnología que los complemente para darle a estos sistemas mayor confiabilidad y precisión. El SBAS puede proveer, precisión adicional y confiabilidad al sistema GPS. Para llegar a esto, es necesario contar con una red de estaciones GPS.

SBAS significa Sistema de Aumentación Basado en Satélites (Satellite Based Augmentation System). De manera simplificada, SBAS puede ser pensado como un servicio DGPS satelital. Cuyas principales diferencias son: que no se necesita ningún receptor adicional para recibir el dato de corrección, y que no existe una estación particular asociada a la corrección DGPS sino que la misma es regional. Sin embargo la principal razón del desarrollo de esta técnica no fue la de incrementar la precisión del posicionamiento GPS sino la de incrementar la seguridad del mismo fundamentalmente para su uso en la aviación y navegación. Siendo entonces la tarea principal de SBAS alertar cuando no resulta seguro utilizar posicionamiento real a tiempo real con GPS, por presentar este, señales con errores que superan una tolerancia dada.

En efecto el sistema GPS de por sí no es lo suficientemente confiable y rápido a la hora de presentar incertidumbre en la precisión del posicionamiento absoluto. Esto hecho es particularmente importante en tareas críticas como por ejemplo el aterrizaje de un avión. Es por esta razón, que todavía hoy esta tarea se realiza haciendo uso del sistema ILS (Instrument Landing Systems) cuya instalación y mantenimiento es muy costoso.

En síntesis los objetivos de los sistemas SBAS son:

➤ **Incrementar la integridad del sistema para cumplir con los requisitos de un sistema de navegación único.** Los estándares civiles requieren el aviso de fallo del sistema en menos de 30 segundos cuando se está en ruta, 10 segundos en una aproximación de no-precisión, y 6 segundos en una aproximación de precisión. En contraste, el sistema GPS puede tardar entre una hora y media y dos horas para notificarle al usuario que ha fallado un satélite.

➤ **Incrementar la exactitud del sistema GPS para cumplir con los requisitos de un medio único de navegación para aproximaciones de precisión.** Sin aumentación de ningún tipo, el GPS o GLONASS pueden ser utilizados únicamente para aproximaciones que no requieren precisión.

➤ **Incrementar la disponibilidad del sistema para cumplir con los requisitos de un medio de navegación único.** Actualmente la disponibilidad del sistema GPS varía entre el 95% y 98%. Como consecuencia, se requiere la confirmación de la disponibilidad de los satélites a lo largo de la ruta del GPS

previa a cada vuelo en el que se desee utilizar GPS como medio de navegación primario. Esto es debido a que, previamente a la existencia de los sistemas SBAS, era necesario dedicar un satélite en línea de visión para la única función de supervisión de la integridad.

SBAS tiene una arquitectura similar al GPS. Está compuesto de un segmento de control, una espacial y el segmento usuario, ver Fig. 3.10.

El sistema espacial consta de **estaciones de vigilancia**, llamadas estaciones de referencia de área amplia o WRS (Wide-area Reference Stations), estaciones maestras o WMS (Wide-area Master Stations), antenas para la retransmisión de datos GES (Ground Earth Stations).

**El segmento espacial** incluye los satélites geoestacionarios.

**El segmento usuario** es el correspondiente al receptor que tiene la capacidad para captar correcciones SBAS.

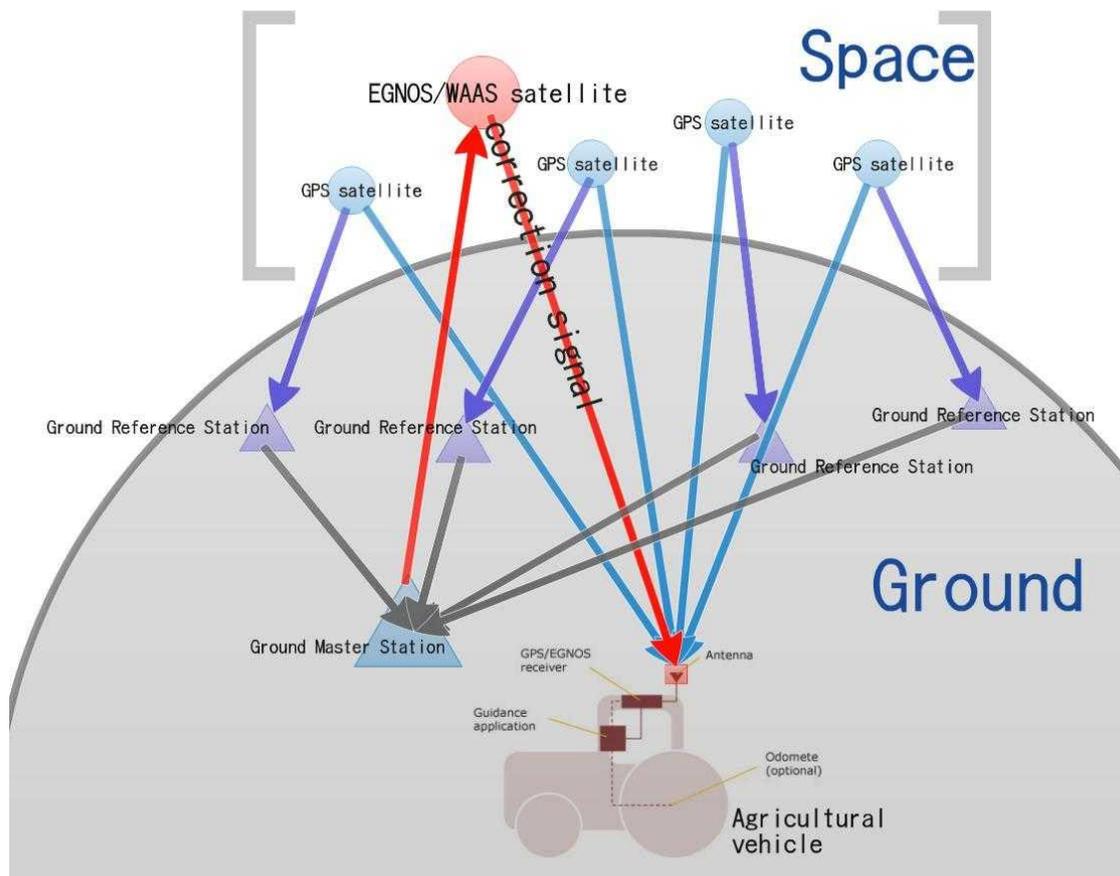


Fig. 3.11 Esquema del Sistema SBAS  
(<http://agritechwebfiles.wordpress.com/2012/03/egnos.jpg>)

### **3.6.1 Estaciones de Referencia de Área Amplia (WRS)**

Este sistema usa estaciones de referencia, distribuidas de tal forma que la distancia entre ellas sea aproximadamente 500 a 1000 km de separación en la región a cubrir. La separación de las estaciones influirá en el grado de precisión del sistema. Lo que hacen es observar las señales GPS, las condiciones ionosféricas y transmitir los datos a las estaciones maestras. Todas las estaciones WRS contienen al menos un receptor doble frecuencia conectado a un oscilador de cesio, un sensor meteorológico, un procesador y hardware de red para transmisión de datos ethernet hacia las estaciones maestras.

### **3.6.2 Estaciones Maestras de Área Amplia (WMS)**

Las estaciones maestras del sistema WAAS toman los datos de las estaciones de referencia (WRS), generando la señal de corrección SBAS. La misma es transmitida a través de las estaciones terrestres a los satélites geoestacionarios para ser enviadas a los receptores. La WMS es responsable por filtrar todas las observaciones GPS hechas desde los receptores de referencia, estimando los estados de los modelos de error tanto ionosférico, de reloj, efemérides, etc. y generando finalmente los mensajes SBAS que serán enviados y aplicados a los cálculos del pseudorange hechos en los receptores WAAS (Sistema de Aumentación Basado en Satélites desarrollado por Estados Unidos). Las estaciones de referencia también envían información del estado de la constelación de satélites GPS al usuario.

La posición de las estaciones maestras como las de referencia de estas estaciones debe ser conocida con gran precisión. Las estaciones reciben la señal de GPS, GLONASS y/o GALILEO, siendo posible de esta forma, calcular la diferencia entre la posición conocida de la estación y la posición dada por el receptor GPS.

### **3.6.3 Estaciones de Comunicaciones (GES)**

Son estaciones terrestres encargadas de recibir los mensajes SBAS de corrección de la WMS y retransmitirla a los satélites geoestacionarios, los que a su vez transmitirán las correcciones hacia los receptores SBAS.

Con todo esto, es posible informar a los usuarios del sistema dentro de un tiempo breve sobre los problemas que tiene el sistema GPS.

La característica más importante de la SBAS para los usuarios comunes de GPS es la grilla de corrección ionosférica. Desde que fue deshabilitado la Disponibilidad Selectiva (SA), la mayor fuente de error es el retardo ionosférico. La ionosfera no es estática y depende de la actividad solar. Por ejemplo, es conocido que las mediciones de receptores simple frecuencia son más precisas en horas cercanas a la medianoche que en el resto del día.

La posibilidad de corregir el efecto de ionosfera, aumenta significativamente la precisión de todos los receptores GPS que tienen la capacidad de procesar datos

WAAS/EGNOS/GALILEO. Con los datos de medición de todas las estaciones se calcula un “mapa” de TEC (Total Electron Content) de la región cubierta por las estaciones. Este mapa TEC se transmite a los satélites geoestacionarios desde los cuales se transmite la información necesaria para la corrección de los efectos ionosféricos, a los receptores.

Los satélites geoestacionarios proveen señales muy similares a aquellas de los satélites GPS y sobre las mismas frecuencias. También estos satélites pueden usarse para calcular posición y adicionalmente, los datos de las correcciones enviadas se usa para mejorar la precisión para los cálculos de posición de todos los satélites GPS.

### ***El procesamiento GNSS y el software Bernese***

#### **4.1 Introducción**

Ha sido considerada en los capítulos previos, la evolución del posicionamiento satelital y su impacto en la agrimensura (capítulo I), el principio del posicionamiento satelital, la descripción del sistema GPS y los segmentos que lo componen, así como los observables y errores que afectan la medición sobre la señal satelital, las combinaciones posibles para atenuar, disminuir o eliminar tales errores (capítulo II) y las diferentes técnicas de medición a aplicar y habiendo sintetizado las ventajas y debilidades de las mismas frente a los requerimientos de los usuarios (capítulo III). En este capítulo se describirá en primer lugar el objeto de desarrollo de esta tesis y luego se describirán los módulos principales del software de procesamiento utilizado en esta tesis y que hace las veces de motor para realizar el procesamiento automático de los datos GNSS.

Si bien hay una amplia variedad de programas de procesamiento de datos GNSS, podemos hacer una clasificación simple y dividirlos en programas comerciales, orientados fundamentalmente a usuarios, profesionales con requerimientos de exactitudes decimétricas o centimétricas y programas científicos, orientados a usos que requieren mejores precisiones de orden subcentimétrica.

Cada compañía que fabrica receptores GNSS ofrece a los usuarios, programas propios de procesamiento, así como un formato de datos propietario. En general estos programas no ofrecen un procesamiento desatendido (es decir que no requieran la intervención de una persona para su ejecución). Tienen un diseño en base a una interfaz gráfica de usuario (GUI) que requiere que en forma interactiva se indiquen las acciones a tomar mediante el uso de iconos que representan funciones y que necesitan para ser ejecutados del usuario, y no brindan muchas opciones para seleccionar parámetros que modifiquen el procesamiento de los datos.

En el otro extremo existen programas científicos que están pensados para procesar volúmenes muy importantes de datos en forma diaria y por lo tanto es posible automatizar sus tareas y no responden a un interés único de posicionamiento específico sino que con los mismos se pueden obtener una variedad de productos como pueden ser: la estimación de parámetros de rotación de la Tierra, el vapor de agua troposférico, el contenido total electrónico en la atmósfera para una

determinada fecha y hora de medición, la órbita de satélites de baja altura (LEO) y por supuesto entre otras cosas el posicionamiento geodésico de alta precisión. Estos programas al tener una variedad tan grande de productos para brindar permiten elegir diferentes opciones prácticamente en todas las constantes, y variables y modelos que participan del cálculo, por ejemplo se puede decidir desde seleccionar una constante tan básica como la velocidad de la luz en el vacío a seleccionar el tipo de algoritmo con el que se va a intentar resolver la ambigüedad inicial de la portadora de la fase, entre la diversidad de opciones de configuración.

Dentro de los programas científicos, Bernese [citar referencia; es uno de los más conocidos y utilizados. Particularmente en el ámbito de nuestra región y a través del proyecto SIRGAS, es el programa utilizado por la mayoría de los centros de procesamiento de SIRGAS, entre los cuales podemos mencionar CIMA (Centro de Procesamiento Ingeniería-Mendoza-Argentina de la Universidad Nacional de Cuyo) dentro del grupo de trabajo I de SIRGAS para materializar el marco geométrico de las Américas. Otros programas como GIPSY-OASIS del JPL (Jet Propulsion Laboratory), <https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov/> o PANDA (Positioning And Navigation Data Analyst) desarrollado originalmente por la Universidad de Wuhan University, <http://144.206.159.178/ft/CONF/16424238/16424302.pdf> está orientados al posicionamiento puntual preciso (PPP) y no permiten el uso de receptores mono frecuencia, que es el tipo de receptores más utilizado en Argentina y en la región, en la que esta Tesis hace foco. Por otro lado GAMIT-GLOBK, <http://www.gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/>, desarrollado por el MIT (Massachusetts Institut of Technology), la Scripps Institution of Oceanography y la Universidad de Harvard no utiliza la estrategia PPP sino la diferencial al igual que Bernese pero sigue estando limitado al uso de receptores doble frecuencia probablemente porque desde su origen fue pensado para procesamientos GNSS orientados a estudios tectónicos y geodésicos de exigente precisiones.

Por lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta las posibilidades de primero generar un procesamiento desatendido, segundo hacer experiencia con observaciones de receptores económicos y tercero, tener la posibilidad de seleccionar las diferentes opciones disponibles en el procesamiento GNSS es que se eligió Bernese como software de procesamiento a utilizar dentro del PAB (Procesamiento Automático Bernese) desarrollado en esta tesis.

## **4.2 Características generales de software de procesamiento BERNESE**

Bernese es el resultado de más de una década de investigación por parte del Instituto Astronómico de la Universidad de Berna, Suiza. Si bien a partir de diciembre de 2012 se publicó la versión 5.2, en esta tesis se trabajó con su precedente la versión

5.0. La misma permite entre otras cosas el pre-procesamiento y procesamiento tanto de observaciones GPS como de observaciones GLONASS y en conjunto.

Algunas de las acciones de este programa incluyen:

- Integración orbital con apropiados modelos de fuerza,
- Modelos observacionales precisos (modelo terrestre, retardos, etc.) con tratamiento riguroso de los sistemas de referencia celeste y terrestre,
- Edición confiable de los datos (saltos de ciclos, outliers, entre otros),
- Estimación de coordenadas, orbitas, retardos troposféricos, errores de reloj de los receptores, movimiento polar y velocidad de rotación terrestre,
- Algoritmos de resolución de ambigüedad aplicables a las líneas de bases grandes,
- Estimación de los parámetros de transformación entres marcos de referencia y
- Modelado cinemático de las posiciones de las estaciones teniendo en cuenta los desplazamientos de placas tectónicas

El mismo es capaz de procesar redes de estaciones GNSS con 24 horas continuas de observación diaria y lograr:

- Posicionamiento relativo al nivel de pocas partes por millón de la longitud de la línea base,
- Posicionamiento global con un nivel de 1 cm en el ITRF,
- Retardo troposférico estimado con precisión de unos pocos mm,
- orbitas GPS determinadas con 10 cm,
- Posición del polo terrestre determinado con una precisión de 1 cm,
- Estimación del error de reloj con una precisión de 100 pico segundos.

La siguiente información ha sido extraída de “User Manual of the Bernese GPS Software Versión 5.0- Astronomical Institute, University of Bern – Beutler, G; Bock, H; Dach, R et al – 2007”.

Algunas de las tareas para las cuales está recomendado el uso de este software son:

- ✓ Procesamiento rápido de relevamientos pequeños con receptores simple y doble frecuencia,
- ✓ procesamiento automático de redes de EP GPS,
- ✓ procesamiento de datos de observación continua, de un gran número de receptores,
- ✓ combinación de diferentes receptores, teniendo en cuenta tanto los receptores como los centros de variaciones de fase de las antenas,
- ✓ procesamiento de observaciones, combinando observaciones GPS y GLONASS,
- ✓ resolución de ambigüedades de líneas bases muy largas ( 2000 km ),
- ✓ generación de soluciones de redes con mínimo constreñimiento,

- ✓ monitoreo de la ionosfera y troposfera,
- ✓ estimación de los errores de reloj y de tiempo,
- ✓ determinación de orbitas y estimación de los parámetros de orientación terrestre,
- ✓ etc.

Con BERNESE, es posible,

- procesamiento simultáneo de observaciones de simple y doble frecuencia,
- procesamiento riguroso de combinación de datos de GPS, GLONASS y GPS/GLONASS,
- uso de modelos ionosféricos a fin de minimizar el impacto de los errores ionosféricos en la determinación de las coordenadas de la estación base,
- distintas combinaciones lineales de L1 y L2 (libre de ionosfera, libre de geometría, wide-lane y Melbourne-Wübbena),
- determinación de distintos tipos de parámetros,
- aplicación, en los movimientos de estación, de modelos de movimientos de placas, mareas y carga oceánica de acuerdo a estándares del IERS,
- utilización de diferentes funciones de mapeo troposférico así como la estimación de parámetros de gradiente troposférico,
- etc.

### **4.3 Formas de trabajo**

Bernese está compuesto por distintos módulos que pueden operar en tres formas.

- La primera, desde menú desplegable y en cada uno de los cuales se encuentran módulos para realizar una acción determinada.
- La segunda, es mediante una rutina preparada por el usuario que permita ejecutar uno o más módulos siguiendo una secuencia y/o ejecutando en paralelo los mismos. Para ello es necesario trabajar con una herramienta llamada Bernese Processing Engine (BPE). Mediante la misma se prepara una rutina que controla el procesamiento denominada "Process Control File" (PCF) que contiene a uno o varios módulos dependiendo la necesidad que tenga el usuario para distintos tipos de tareas.
- La última, es aquella que permite ejecutar cada uno de los módulos que contiene, desde programas externos que llamen a su ejecución.

La primera forma, modo manual, requiere de un usuario con un buen grado de conocimiento de los conceptos necesarios tanto sobre GPS como de las utilidades, condiciones, limitaciones de cada módulo. La segunda está orientada al procesamiento automatizado siempre bajo las mismas opciones, mientras que la tercera opción permite mayor flexibilidad para que frente a determinados casos ejecute los módulos en forma automática pero definiendo los parámetros a utilizar entre varias opciones.

Debido a que esta Tesis persigue concretar un servicio de procesamiento on-line automatizado, descartará la primer opción, que requiere atención cada qué vez que ejecuta y elegirá la tercer forma de trabajo que es la más desatendida de todas. Para esto, un programa en el lenguaje de programación PERL, tendrá a cargo el flujo de decisiones y elegirá caso por caso que módulos correr y la configuración de parámetros adecuados según el caso que se presente. Esta forma de trabajo es independiente del sistema operativo y puede funcionar bajo los entornos Windows o Linux.

#### **4.4 Estructura del programa**

Bernese contiene alrededor de 70 programas que están ordenados en cuatro partes dentro de la barra de menú. A continuación se presenta la estructura de programa contenido en cada menú. Se hace especial hincapié en aquellos que serán utilizados en el siguiente capítulo. Sólo se despliegan aquellos programas que contienen los submódulos utilizados en esta tesis.

- *CONFIGURE*: configura el menú en forma general y las estructuras de procesamiento
  - Set session/compute date
  - Menu variables
  - Program names
  - Paths and extensions
  - Change general options
  - Updates input files
  - Menu layout
  - Quit
  
- *CAMPAIGN*: configura y prepara la campaña
  - Select active campaign
  - Edit list of campaigns
  - Create new campaign
  - Edit session table
  - Edit station files
  
- *RINEX*: incluye todos los programas relacionados a la transferencia de archivos RINEX en formato Bernese o viceversa, o para editar archivos RINEX como cortar una determinada ventana de tiempo o concatenar archivos. Esta herramienta permite extraer información del encabezado (Header), generar información estadística o pre procesar observaciones.

- Import RINEX to Bernese format
- Observation files
- Navigation files
- Export RINEX from Bernese format
- Cut/concatenate RINEX files
- RINEX utilities

- *Orbits/EOP*: contiene todos los programas relacionados a las orbitas de los satélites o los parámetros de orientación terrestre (EOP). Esto incluye, la generación de la representación de las orbitas estándares, comenzando desde la información de las efemérides precisas o transmitidas, creación de archivos de orbitas precisas, concatenación de archivos de efemérides precisas, comparación de orbitas, conversión de la información de EOP desde formato IERS a formato Bernese, extracción de la información del polo.

- Broadcast orbits
- Check broadcast orbits
- Create tabular orbits
- Extract satellite clocks
- Create tabular orbits
- Create standard orbits
- Extract orbit generation program output
- Convert standard to precise orbits
- Set accuracy codes in precise orbits
- Cut/concatenate precise orbit files
- Compare orbits
- Handle EOP files
- Convert IERS to Bernese Format

- *Processing*: contiene los principales programas de procesamiento. Esto incluye procesamiento de código y sincronización de relojes (CODSPP), generación de archivos de líneas base (SNGDIF), pre procesamiento de fase y código (MAUPRP), estimación de parámetros basados en observaciones GPS y GLONASS (GPSEST) y en el ajuste de sistemas de ecuaciones normales (ADDNEQ2).

- Code-based clock synchronization
- Baseline file creation
- Phase preprocessing
- Parameter estimation
- Normal equation stacking
- Program output extraction

- *Service*: contiene un simulador (GPSSIM) y un buen número de herramientas para editar archivos binarios, chequear residuos, comparar y edita archivos de coordenadas, etc. Este menú también provee la posibilidad para realizar lo propio con archivos de reporte de cada programa y también los archivos de mensajes de error.

- Generate simulated observation data
  - Bernese observation files
  - Residual files
  - Coordinate tools
  - Ionosphere tools
  - Automated processing
  - Browse program output
  - Browse error message

- *Conversion*: los programas de conversión son una parte de este servicio. Permite convertir archivos binarios en formato ASCII y viceversa. Otros programas permiten convertir archivos SINEX (Solution INdependent EXchange Format) en archivos de ecuaciones normales, extraer de archivos SINEX información de las estaciones, manipular archivos SINEX de troposfera.

- SINEX to normal equations
  - SINEX to station information
  - Manipulate troposphere SINEX files
  - ANTEX to Bernese format
  - Observation files
  - Residual files
  - Orbit files
  - Normal equations (binary/ASCII)
  - Version 4.2 to 5.0

- *BPE*: permite la automatización del procesamiento de datos GPS. BPE está implementado de acuerdo a una arquitectura de servidor-cliente. La comunicación entre los distintos componentes se realiza utilizando conexiones TCP/ICP. En esta parte de Bernese, es donde se aplica la segunda forma de procesamiento, es decir se arma una rutina determinada y a todas ellas se las reúne en una sola denominada "archivo de control del proceso (Process Control File, PCF). La ejecución del PCF está a cargo del usuario.

- Edit process control file (PCF)

- Edit PCF program input files
- Edit single menu/program input file
- Edit CPU file
- Reset CPU file
- Start BPE process

#### 4.5 Estructura de directorios de Bernese

El programa tiene tres directorios principales: Bern50, GPSDATA y GPSUSER.

En BERN50, es el directorio principal donde se encuentran los correspondientes ejecutables de cada programa de Bernese.

En GPSDATA se encuentran con sus nombres respectivos, distintas campañas, creadas por el usuario. En cada campaña, se ubican los archivos que contienen la información a ser procesada, como así también información complementaria, la cual será utilizada en las distintas etapas de procesamiento.

En GPSUSER está volcada la correspondiente configuración realizada por el usuario, para los módulos utilizados, de acuerdo a las necesidades y relacionada a la campaña de trabajo. Cabe mencionar que en este directorio se encuentran los correspondientes archivos de control de procesamiento (PCF) creados por el usuario, y los INPUTS especificados por el usuario (OPT, option directory) en aquellos casos que serán utilizados desde un correspondiente PCF en el procesamiento con BPE.

El esquema de directorio utilizado está representado en la Fig. 4.1.

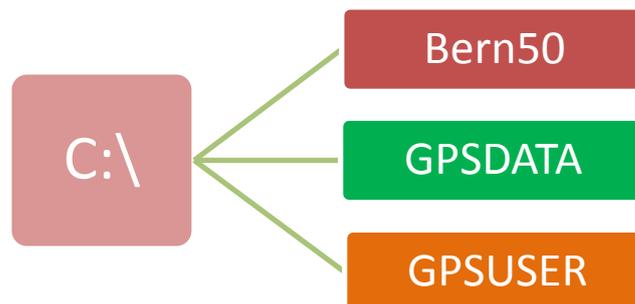


Fig. 4.1 Esquema de Directorios

En el subdirectorio BERN50 (Fig. 4.2) el esquema de directorio es:

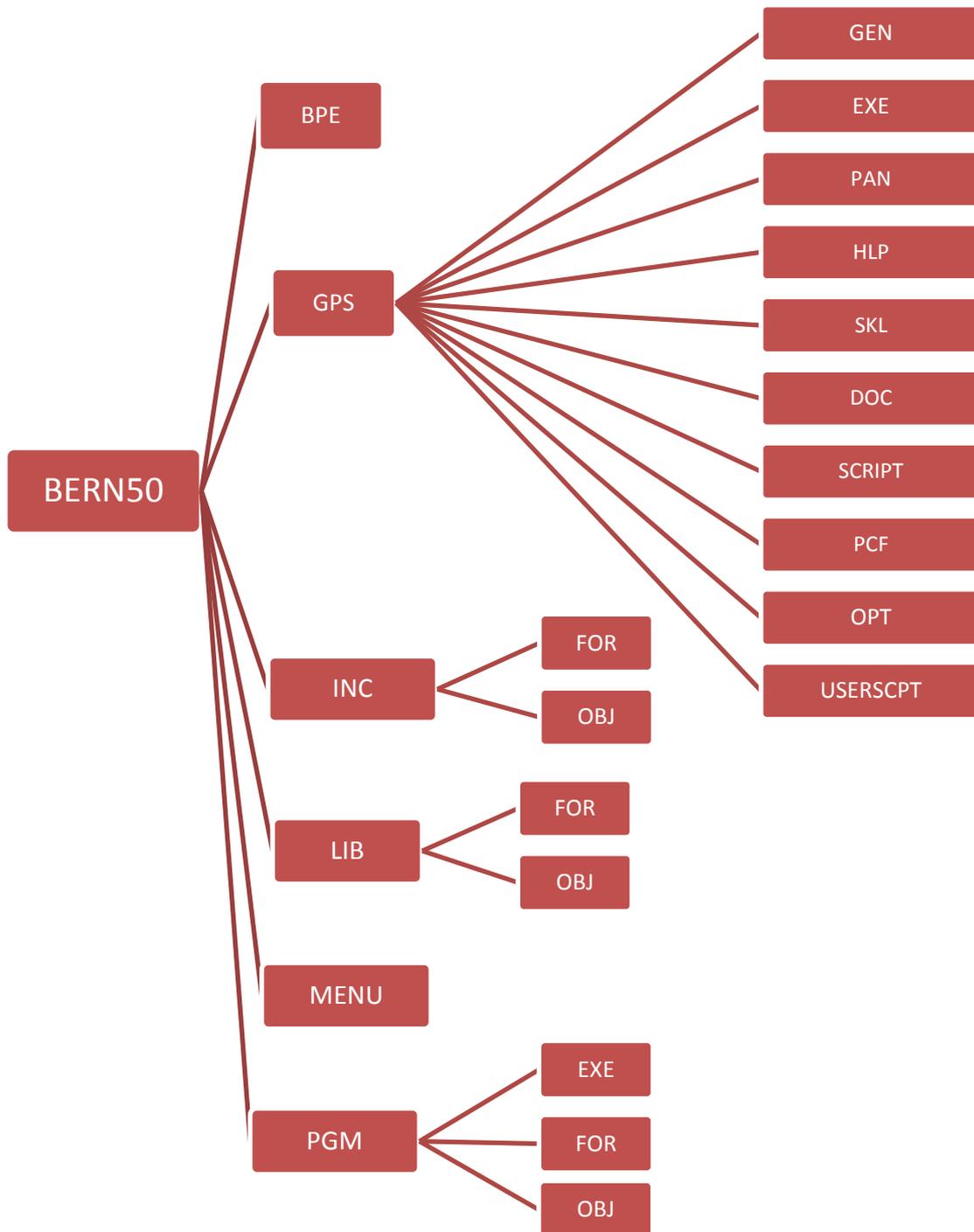


Fig. 4.2 Esquema de Subdirectorios de BERN50

- *BPE*: contiene los scripts y las rutinas (módulos de PERL) usadas por BPE (Bernese Processing Engine) o por los scripts del usuario para BPE.

- *GPS* (área de programas): contiene archivos de software de varios tipos, distribuidos según los siguientes subdirectorios:
  - GEN: contiene los archivos generales más importantes (ej. Archivos de información de satélites, datum geodésicos, archivos de definición, constantes a ser utilizadas por Bernese, etc.)
  - EXE: contiene archivos de comandos (scripts) para ejecutar los menues o programas, para compilar y enlazar rutinas o para recompilar todos los módulos de Bernese. También contiene el módulo configure.pm para instalar el software.
  - PAN: contiene los paneles de input de programa originales. Estos son copiados directamente a los correspondientes directorios de C:\GPSUSER\PAN durante la instalación y cuando es usado por el usuario en una campaña.
  - HLP: contiene los paneles de ayuda. Estos pueden ser mostrados en línea para cada panel de input del sistema de menú.
  - SKL: contiene los archivos que por default se copiaran automáticamente en el directorio STA de cada campaña a procesar al generarla. Si esto se especifica en el path de directorios. Es común colocar allí el archivo que define las sesiones (SESSIONS.SES), al archivo de coordenadas, el de abreviaturas de las estaciones entre otros.
  - DOC: contiene ejemplos de distintos tipos de archivo Bernese, archivos readme, y la documentación completa de Bernese.
  - SCRIPT: contiene archivos de comando básicos necesarios para el procesamiento automatizado usado por BPE.
  - PCF: contiene ejemplos de archivos de control de procesos.
  - OPT: contiene directorios con los paneles, por ejemplo los archivos PCF en el directorio PCF. Estos archivos son copiados directamente en C:\GPSUSER\OPT.
  - USERSCPT: contiene los scripts BPE del usuario de los archivos ejemplos PCF en el directorio PCF. Estos scripts son copiados directamente en C:\GPSUSER\SCRIPT.
  
- *INC*: contiene los archivos de los distintos módulos de Bernese en el código del programa FORTRAN. Los archivos de modulo están clasificados en cuatro diferentes tipos. Los módulos M contiene información general; los módulos D, son módulos de estructura de datos y los P son módulos de programas específicos. El archivo de interfase para las subrutinas es I\_GPSLIB.f90

- *LIB*: contiene la librería de FORTRAN libBERN50.a de Bernese. El subdirectorio FOR contiene el código fuente FORTRAN de las subrutinas y el subdirectorio OBJ los correspondientes archivos objeto.
- *MENU*: contiene los archivos ejecutables así como los códigos Fuentes de C++ para el menú
- *PGM*: el subdirectorio FOR, contiene todos los códigos fuente de FORTRAN de los programas, el subdirectorio OBJ los correspondientes archivos de objeto y el subdirectorio EXE contiene todos los ejecutables correspondientes.

En el subdirectorio GPSDATA (área de datos) se encuentran las campañas (proyectos) generadas por el usuario. Al crear las mismas, la estructura interna cuenta con nueve subdirectorios. En la Fig. 4.3 se muestra a modo de ejemplo el esquema en base a dos proyectos (Campaña 1 y Campaña 2) es:

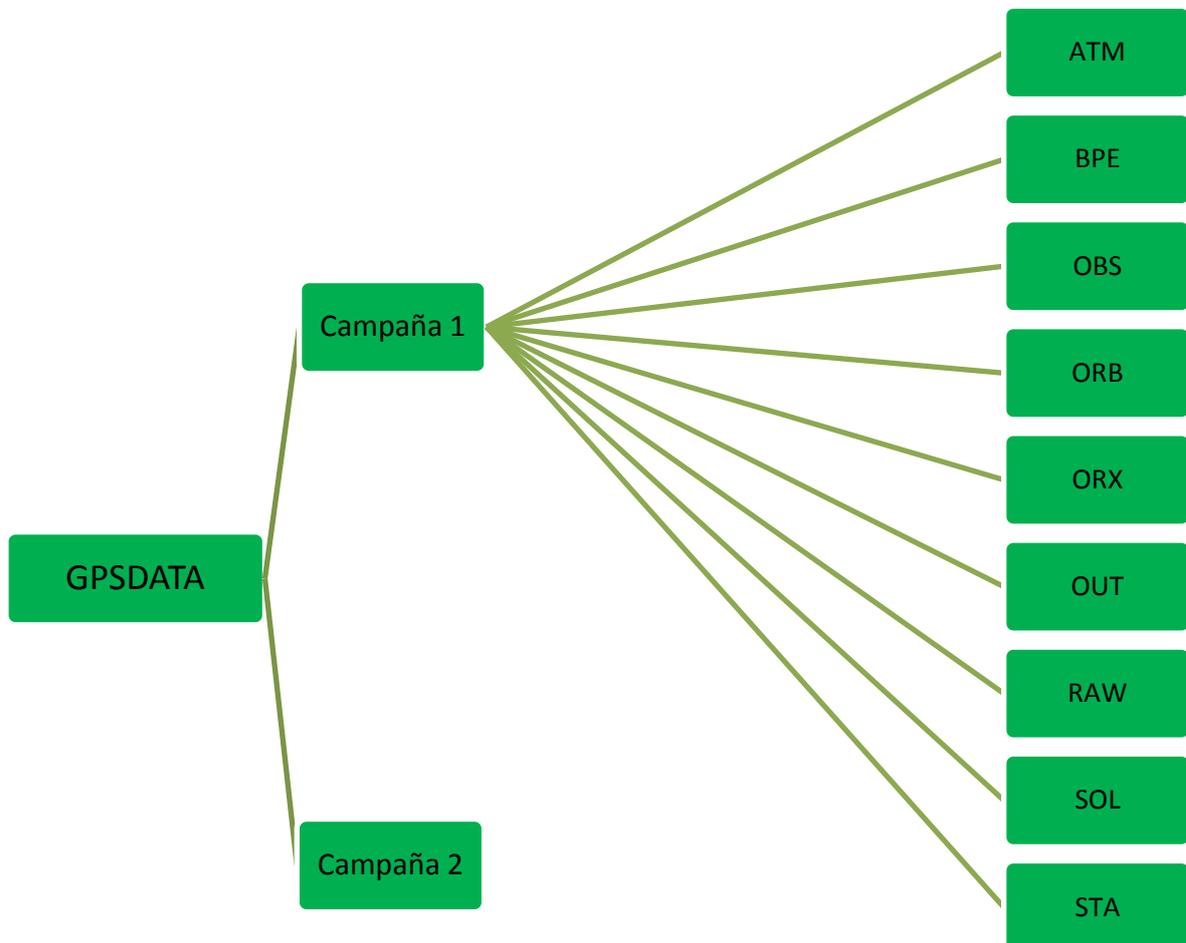


Fig. 4.3 Esquema de Subdirectorios de GPSDATA

- Campaña 1
  - ATM: datos de campaña, y archivos de modelos de atmosfera

- BPE: archivos de salidas al correr BPE (Bernese Processing Engine)
- OBS: archivos de observación en formato Bernese
- ORB: archivos de orbitas, orbitas en formato Bernese (tabulares y estándares), correcciones de reloj, parámetros de orientación terrestre (EOP's).
- ORX: archivos originales RINEX
- OUT: archivos de salida generados por cada módulo de Bernese
- RAW: archivos RINEX, de observación y de navegación
- SOL: archivos de solución de ecuaciones normales, SINEX, etc.
- STA: archivos específicos de la campaña, de estaciones y la tabla de sesión de campaña. Entre otros podemos mencionar: el archivo de Abreviaturas (\*.ABB), el archivo de coordenadas de las estaciones (\*.CRD), el archivo con el detalle de equipamientos de las estaciones (\*.STA), el archivo de corrección de carga oceánica (BLQ) para aplicar a cada estación.

El esquema de directorios (Fig.4.4) en el subdirectororio GPSUSER (área de “usuario”) es:

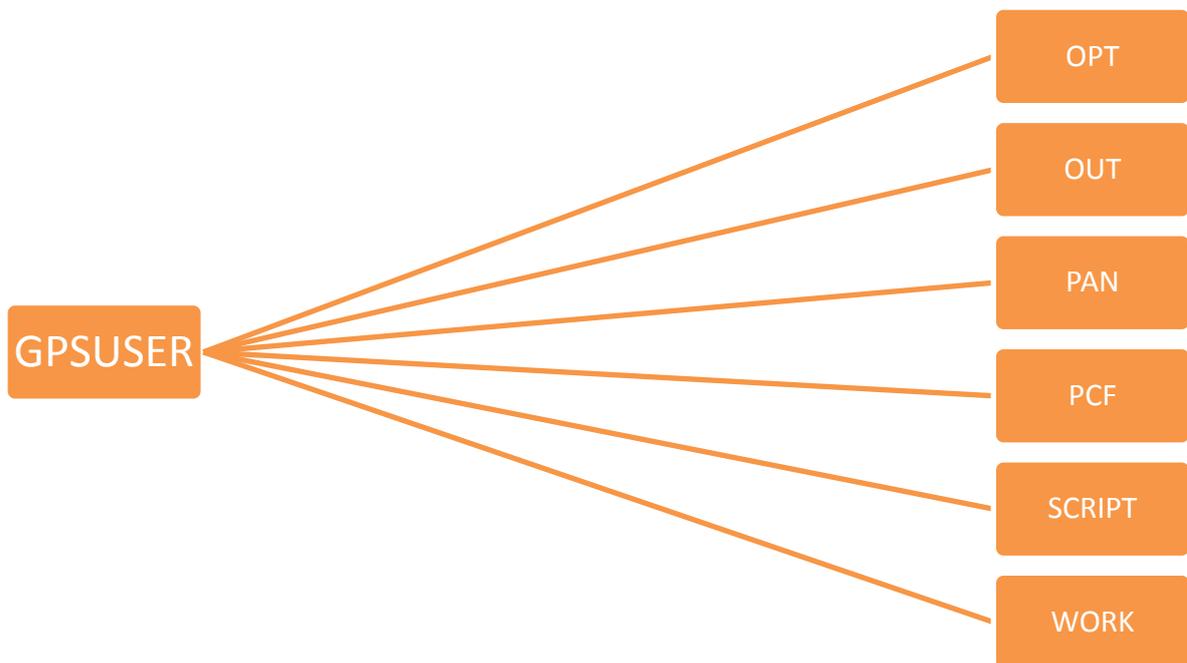


Fig. 4.4 Esquema de Subdirectorios de GPSUSER

- *OPT*: se encuentran agrupados por subdirectorios en correspondencia con los PCF. Aquí se encuentran los INPUTS de procesamiento especificados

por el usuario (inicialmente son copia de los que se encuentran en C:\BERN50\GPS\OPT)

- *OUT*: directorio para archivos de salidas de campañas independientes
- *PAN*: opciones de input para programas específicos
- *PCF*: en este directorio se encuentran los correspondientes archivos de control de procesamiento (PCF), generados por el usuario para ejecutar Bernese en modo BPE.
- *SCRIPT*: contiene los scripts específicos necesarios para los PCF
- *WORK*: contiene los archivos de usuario específicos generados durante los trabajos interactivos

#### **4.6 Conclusiones**

Teniendo en cuenta que Bernese es el programa científico más difundido en la región y que se cuenta con la licencia correspondiente, en este capítulo se describió las virtudes que tiene el mismo como así mismo la estructura en cuanto a sus directorios y los archivos necesarios para desarrollar varias tareas.

Como se vio en este capítulo, Bernese es un software que permite, haciendo un uso adecuado de PERL y FORTRAN, optimizar aún más las rutinas de procesamiento y análisis. La estructura del mismo tiene un diseño que permite al usuario hacer uso del mismo con conocimientos básicos y evolucionar en el manejo del mismo, ya sea a partir de la profundización y conocimiento de sus variables y/o aplicaciones. En el capítulo V, se describen con mayor detalle, aquellas rutinas que se han considerado como parte esencial del modo automático desarrollado, objeto de esta tesis.

## **Capítulo V**

# **DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PROCESAMIENTO**

### **5.1 Introducción**

En el capítulo anterior se describió la estructura del programa Bernese y las tres formas de ejecución del mismo: por acceso desde el menú principal, desde el modo pre configurado denominado BPE o a partir de un acceso desatendido. Este último modo de acceso requiere el desarrollo de rutinas específicas que lo comanden, es el que ha sido el utilizado en el sistema de procesamiento automático desarrollado en esta Tesis. El nombre elegido para este desarrollo es “Procesamiento Automático Bernese” (PAB).

Tanto el modo de ejecución por menú y el modo de ejecución por BPE requieren que el usuario inicie la campaña, descargue los archivos de observación en el directorio correspondiente al igual que los archivos de efemérides, los parámetros de orientación terrestre, y algunos archivos de información de las estaciones a ser procesadas, entre ellos el archivo con las coordenadas. La diferencia principal entre ellos es que en el acceso por menú, más sencillo que el BPE, se debe seleccionar las opciones en cada oportunidad que se quiera ejecutar algo. En tanto, con BPE las opciones quedan pre configuradas luego de una primera vez. Notar que en ambos casos, es el usuario quien debe elegir todas las opciones y parámetros del procesamiento.

Por lo tanto lograr automatizar el procesamiento significa que a partir del archivo de observaciones enviado por un usuario sin intervención de una persona hasta llegar a la estimación de coordenadas y precisiones correspondientes se debe tener en cuenta: la preparación y análisis del archivo INPUT, la selección de la estación GNSS de referencia que se utilizará como Base en el procesamiento diferencial, la búsqueda en internet de su archivo de observación correspondiente a la fecha y hora del archivo de observación que se desea procesar, la descarga del mismo desde el centro de datos donde los mismos se publican y la descompresión del mismo, con la cual se realizará el procesamiento diferencial.

En el caso del PAB la selección de la estación base se realizará entre la red de estaciones GNSS de la región, que se encontraban operativas durante el período de medición de las observaciones que se desean procesar. Entre las disponibles se selecciona la más cercana al sitio donde se realizó la medición que se quiere procesar. Dicha estación pertenecerá a alguna de las redes de estaciones continuas de la región como la red RAMSAC en Argentina o de alguna de las distintas redes sudamericanas que componen SIRGAS-CON. El PAB realiza un chequeo de las observaciones y procede a la búsqueda y descarga de las efemérides satelitales y parámetros de orientación terrestre correspondientes a la fecha de observación.

En el diseño de este modo automático, se ha tenido en cuenta que la interacción con el usuario (Figura 5.1) se realizará a través de una página web, de manera similar a los servicios de AUSTRALIA (AusPos - Online GPS Processing Service), [<http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/auspos-online-gps-processing-service.html>]), CANADA, (CSRS, Canadian Spatial Reference System), [[http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp\\_e.php](http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp_e.php)], del Jet Propulsion Laboratory (APPS, Automatic Precise Positioning Service), [<http://apps.gdgps.net/index.php>], etc.

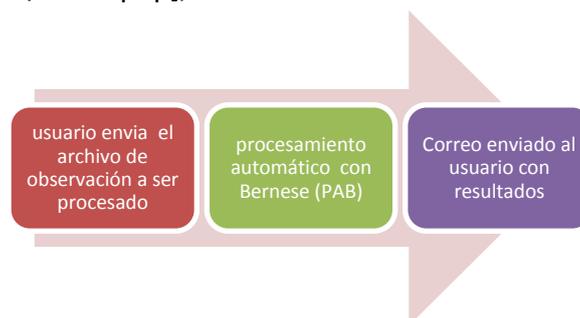


Fig. 5.1 Esquema de proceso del PAB

Para ello, todo el proceso, desde que se recibe el archivo RINEX del usuario, hasta que se envían los resultados, se ha dividido en tres partes bien diferenciadas, denominadas módulos, que tienen un objetivo específico para el cual se aplican diferentes subrutinas.

En este capítulo se presenta una descripción detallada de este Proceso.

## 5.2 Recepción del pedido de procesamiento

Todo el proceso comienza recibiendo un archivo RINEX y una dirección de correo electrónico a través de una interface WEB muy sencilla, la figura 5.2 muestra como está diseñada la página. El usuario una vez cargados los datos debe tocar con el ratón el botón de enviar y comienza el proceso denominado PAB.

# Procesamiento Automático BERNESE (PAB)

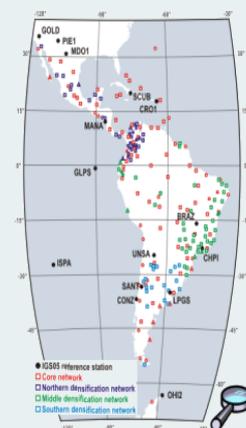
Tesis Doctoral de Hernán Alvis Rojas

## Introducción

Los sistemas de navegación por satélite (GNSS) han hecho realidad la posibilidad del posicionamiento en forma sencilla, económica y a escala global. Sin embargo todo usuario que desee posicionarse con un error por debajo de los cinco metros deberá trabajar con los observables directos y realizar sobre los mismos algún tipo de procesamiento o corrección.

Las técnicas de post-proceso pueden ser de dos tipos: posicionamiento puntual preciso o posicionamiento diferencial. Mientras que la primera presenta la gran desventaja de requerir todos los tipos de observables posibles, dejando fuera de la solución a los usuarios con receptores menos costosos, la segunda presenta la desventaja de requerir al menos dos receptores GPS que observen en forma simultánea.

El presente desarrollo utiliza la técnica de procesamiento diferencial, ya que la misma permite alcanzar exactitudes de pocos centímetros aún con los receptores más económicos que observan en una sola frecuencia. Como la técnica diferencial exige datos observados en al menos dos receptores en forma simultánea, se toma como receptor de referencia alguno de los que integran una red de estaciones GNSS permanente de medición continua.



## ¿Cómo usar el servicio?

La manera de utilizar el servicio es sencilla, usted debe ingresar una dirección de correo válida en la primera fila del formulario, cargar el archivo de la observación efectuada en alguno de los formatos válidos y a continuación apretar la opción ENVIAR.

Los formatos soportados a subir para el procesamiento diferencial pueden ser en forma de archivos comprimidos: .gzip, .zip, .Z, con compresión hatanaka, .yyd, o archivos RINEX .yyo.

### Pick your data

Formulario de procesamiento

Ingrese una dirección de correo válida

Adjunte el archivo a procesar (< 20Mb)

mzac1130.08o

Fig.5.2 Portal del sistema PAB donde el usuario carga sus datos

## 5.3 Procesamiento Automático Bernese (PAB)

Una vez recibido el archivo de observación a ser procesado en formato RINEX, automáticamente se genera un directorio con un nombre igual al número de proceso dentro de la computadora donde se ejecuta Bernese. El mismo es único para ese archivo de tal forma que una vez que se termina el procesamiento, queda todo el nuevo directorio completo en el directorio GPSUSER (ver capítulo IV), con sus archivos de observación, los generados en estas operaciones juntos con los correspondientes al reporte de cada parte del proceso de Bernese. Este directorio se crea en el sector de la computadora donde esté instalado Bernese.

La rutina de procesamiento automático ha sido desarrollada utilizando el lenguaje PERL. El proceso comienza su ejecución automática desde "Bernese\_auto\_processing.pl".

La misma se ha diseñado en base a los siguientes tres módulos (Fig. 5.2):

- I. "Bernese\_pre\_processing.pl": Entrada y preparación de datos,

- II. "Bernese\_processing.pl": Procesamiento,
- III. "Send\_results.pl": Envío de reporte (coordenadas y precisión)

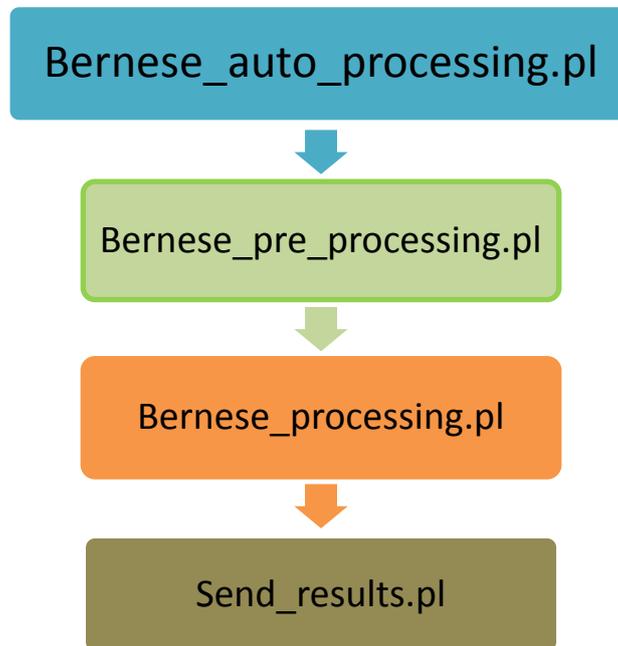


Fig. 5.3 Módulos funcionales del PAB

En la figura 5.3 se esquematiza la estructura funcional del PAB según el árbol de directorio diseñado, la cual se describe a continuación.

- **datos\_a\_priori:** aquí se deben colocar archivos que utiliza Bernese para la ejecución de sus módulos, tales como: archivos de abreviaturas (ABBREV\_D.ABB), archivos de coordenadas (IGS05\_r.CRD) y velocidades (IGS05\_r.VEL), archivos con información específica de las estaciones (STAINFO\_D.STA), tabla de sesiones (SESSIONS.SES), entre otros.
- **input:** ubicación del archivo "stations.txt" donde está la información de todas las EP GNSS de la Red SIRGAS-CON que pueden ser utilizadas como base del procesamiento. Las mismas se reportan con sus respectivas coordenadas. Además en este directorio se copia el archivo del usuario como así mismo el archivo de observación de la EP GNSS seleccionada para a usar en el proceso.
- **menues\_a\_priori:** cada módulo de Bernese para ser ejecutado, necesita de un archivo con las configuraciones seleccionadas, al cual se llamará "input". Dado que se pretende que el proceso sea automático, en este directorio se

copian todos los "INPUT" necesarios de manera genérica (ej. BRDTAB.INP\_ORIGINAL, GPSEST. INP\_ORIGINAL, etc.), permitiendo su posterior uso según el caso. Cada uno de estos archivos serán modificados posteriormente, de acuerdo a las condiciones del archivo RINEX enviado por el usuario.

- **proceso:** para identificar al usuario con su correspondiente procesamiento, se ha dispuesto la utilización del número de proceso interno de la PC donde corra el programa. Al recibir el archivo RINEX, procedente del usuario, quedará registrado el número correspondiente del proceso en este directorio. Ese mismo número es utilizado como nomenclador de la campaña correspondiente dentro del directorio GPSSDATA de Bernese.
- **programas:** en este subdirectorio están alojados los archivos ejecutables de programas como crx2rn.exe, teqc.exe, 7zG.exe y gzip.exe, que serán necesarios para distintas instancias del proceso. Un detalle a tener en cuenta es que todos los programas ajenos utilizados son gratuitos y pueden ejecutarse en forma desatendida por medio de una línea de comandos que acepta argumentos (opciones) para los distintos modos de ejecución.
- **subrutinas: aquí aparecen dos subdirectorios**
  - **pre\_processing:** en este subdirectorio se han ubicado todas aquellas subrutinas que son ejecutadas en el denominado preprocesamiento.
  - **processing:** se ubican las subrutinas de cada uno de los módulos de Bernese, relativas al procesamiento diferencial y estimación de parámetros.

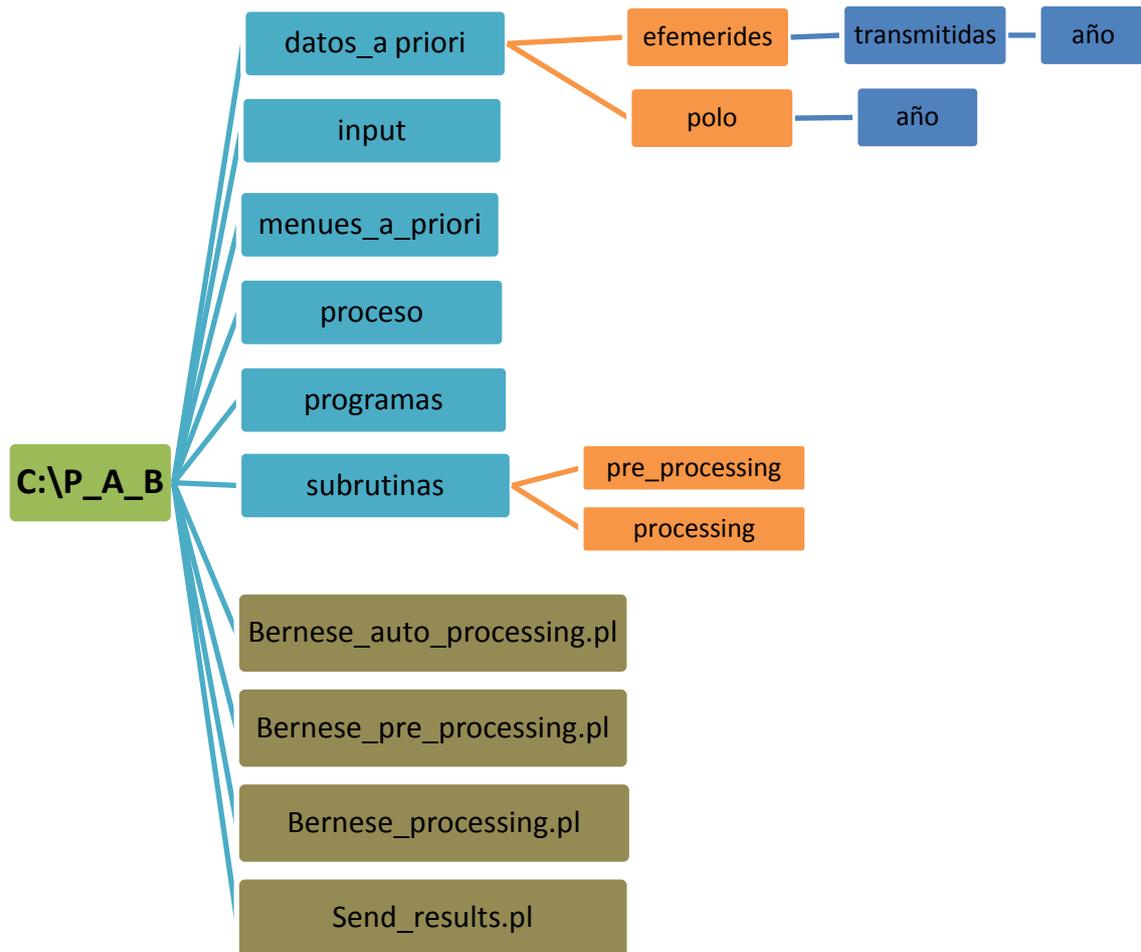


Fig. 5.4 Estructura funcional del directorio P\_A\_B

## 5.4 Bernese\_auto\_processing.pl

Esta es la principal rutina que comanda el procesamiento automático. Desde esta rutina se ejecutan de forma consecutiva y de no mediar algún inconveniente en el archivo de las observaciones, las rutinas que realizan el preprocesamiento (“Bernese\_pre\_processing”), el procesamiento (“Bernese\_processing”) y el envío de resultados. Desde la misma también se asigna el número de proceso, se obtiene el nombre del archivo RINEX del usuario y se identifica la dirección de e-mail del usuario hacia la cual se enviarán los resultados.

Esta serie de comandos tienen como objetivo crear el directorio de procesamiento, copiar allí el archivo de observación, utilizar la información de tipo de antena y altura de antena enviada por el usuario y ejecutar los siguientes tres módulos.

### 5.4.1 Módulo de preprocesamiento “Bernese\_pre\_processing.pl”

La Fig. 5.4, esquematiza las ocho subrutinas que en forma concatenada, se ejecutarán con el objeto de: descomprimir los archivos de observación, validar la calidad del mismo, buscar y validar la fecha de la observación, buscar y determinar el tipo de observables contenidos en el archivo de observación (monofrecuencia o doble frecuencia), determinar las coordenadas del sitio y de acuerdo, a su cercanía seleccionar la estación continua a ser utilizada como base, descargar desde internet las observaciones de la estación base como así también las efemérides correspondientes. Cada una de estas acciones, se desarrolla a partir de la ejecución de cada una de las siguientes ocho rutinas. Para más información de los códigos de cada subrutina ver Anexo N° 1

*01-decompression.pl*: verifica si el archivo de observación enviado por el usuario está comprimido o no y en caso afirmativo lo descomprime teniendo en cuenta el formato del mismo (formatos zip, RAR, Z y/o Hatanaka). Esta tarea es realizada sin valerse de la extensión del archivo sino verificando internamente cual es el algoritmo utilizado, para lo cual se utiliza la técnica de “números mágicos” ([http://en.wikipedia.org/wiki/Magic\\_number\\_\(programming\)#Magic\\_numbers\\_in\\_files](http://en.wikipedia.org/wiki/Magic_number_(programming)#Magic_numbers_in_files)).

*02-rinex\_validation.pl*: se verifica que el archivo enviado por el usuario se encuentre en formato RINEX para ello se hace uso de la aplicación “teqc.exe”, [<http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>] que chequea que el estándar se cumple.

*03-date\_validation.pl*: para realizar la búsqueda de las efemérides y el archivo de observación de la base a procesar es necesario conocer fehacientemente la fecha de observación. La misma es consultada, mediante esta rutina, en el cuerpo del archivo RINEX de observación. La fecha se valida de manera tal que debe coincidir la escrita en el nombre del archivo Rinex con la fecha interna que se encuentra en la primer línea de época pasando el encabezamiento del archivo RINEX. *04-type\_of\_observ.pl*: extrae la información sobre el tipo de observables (C1, P, L1 y L2) presentes en el archivo RINEX. La misma se obtiene de una línea del encabezamiento que es obligatoria en el archivo RINEX. Este dato es fundamental para saber si se podrá realizar o no la llamada combinación libre de ionosfera que solo sea posible llevar a cabo en receptores doble frecuencia y que elimine más del 99% del error que induce la atmosfera no neutra en la señal.

*05-get\_ephemerides.pl*: con los datos del día y semana GPS a los que corresponde la observación enviada por el usuario, se procede a buscar y descargar desde un servidor de libre acceso, el archivo de efemérides precisas, rápidas y/o transmitidas (siendo este el orden prioritario establecido) y el archivo correspondiente a los

parámetros de orientación terrestre (ERP). Estos se copian en el subdirectorio “proceso”.

*06-get\_coord.pl*: del encabezamiento del archivo RINEX, se extraen las coordenadas aproximadas del sitio de observación. Si por algún motivo estas coordenadas no existieran el sistema puede igualmente funcionar, la diferencia estará en la cantidad de veces que iterará el modulo de posicionamiento puntual para obtener coordenadas aproximadas.

*07-get\_closer\_station.pl*: esta rutina permite seleccionar la estación base y descargar sus observaciones. Al contar con las coordenadas aproximadas del sitio de observación (rutina 06), es posible calcular la distancia a las EP GPS operativas y seleccionar aquella que resulte más cercana y ese día haya operado. Esta rutina además se conecta con el servidor de datos correspondiente, selecciona el archivo RINEX que corresponda al día de observación y lo descarga. *08-ref\_station\_data.pl*: una vez que se cuenta con el archivo RINEX de la EP GPS seleccionada, se extraen desde su HEADER (encabezado) la información de receptor y antena correspondiente.

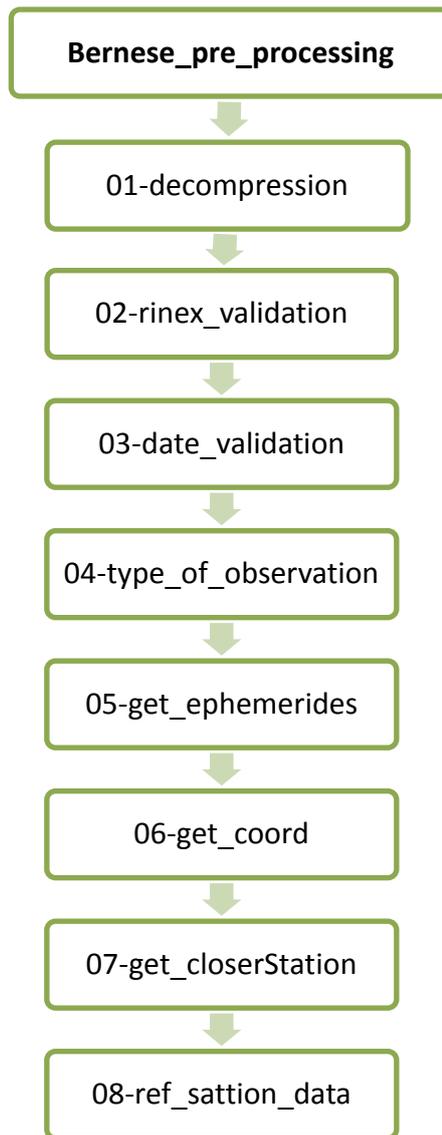


Fig. 5.5 Esquema de subrutinas ejecutadas desde Bernese\_pre\_processing.pl

La figura anterior, esquematiza las ocho subrutinas que en forma concatenada, se ejecutarán con el objeto de: descomprimir los archivos de observación, validar la calidad del mismo, buscar y validar la fecha de la observación, buscar y determinar el tipo de observables contenidas en el archivo de observación (monofrecuencia o doble frecuencia), determinar las coordenadas del sitio y en base a su cercanía, cuál será la estación continua a ser utilizada como base, descargar desde internet las observaciones de la estación base como así también las efemérides correspondientes.

Cabe mencionar que cada una de las rutinas desarrolladas está conformada por líneas de programación que requieren de archivos de entrada (Input) y generando, los correspondientes de salida (Output). Tanto unos como otros están identificados por

sus extensiones (en mayúsculas). En las rutinas también se utilizan variables identificadas con minúsculas.

En la Tabla 5.1 se muestra un resumen, para cada una de las rutinas, de la cantidad de líneas de programación que contienen, los programas externos utilizados, así como los “Input” y los “Output” requeridos.

Rutina	Líneas	Programa	Archivos	
			Input	Output
decompression.pl	83	7zG, crx2rnx	AAO	AAO
rinex_validation.pl	38	teqc	AAO	
date_validation.pl	66	teqc	AAO	año, mes, día
type_of_observation.pl	59		AAO	L1, L1-L2
get_ephemerides.pl	99	7zG	L1, L1-L2	AAN,ERP
get_coord.pl	44		AAO	coord. (X;Y,Z)
get_closer_station.pl	111	7zg, crx2rnx	AAO, coord. (X,Y,Z)	Est. Sel., Dist.
ref_station_data.pl	54		CRD, STA Est. Sel.	Est. Ref. Receptor, antena

Tabla Nº 5.1 Descripción de subrutinas de Bernese\_pre\_processing.pl

Referencias:

7Zg: programa que permite descomprimir archivos

crx2rnx: programa que transforma archivos Hatanaka a formato RINEX

teqc: programa que permite editar, chequear, etc, archivos RINEX

AAO: archivo RINEX de observación

AAN: archivo de efemérides transmitidas

ERP: archivo de parámetros de orientación terrestre

L1, L1-L2: archivo que indica el tipo de observable tiene el archivo AAO enviado por el usuario

CRD: Archivo de coordenadas de las EP GPS que pueden ser elegidas como base

Año, mes, día: archivo generado donde está la información extraída del archivo AAO

Coord. (X,Y,Z): coordenadas aproximadas del punto de observación extraída del encabezado o Header de AAO

Est. Sel.: EP GPS seleccionada para ser utilizada como base

Receptor, antena: información del tipo de receptor y antena extraído del encabezado del archivo AAO

STA: archivo, con la información del receptor, antenas, radomes y alturas, correspondientes a las EP GPS de SIRGAS-CON

CRD: archivo de coordenadas de las EP GPS de la red SIRGAS-CON

### **5.4.2 Módulo de procesamiento “Bernese\_processing.pl”**

Una vez ejecutada la primera etapa, se está en condiciones de poder pasar a trabajar directamente en el procesamiento de los datos del usuario con los de la estación permanente seleccionada.

Anteriormente se explicó que el proceso de cálculo con observaciones GPS mediante Bernese, consta de dos partes, la denominada pre-procesamiento y la de procesamiento, por lo cual las subrutinas han tenido presente estos dos procesos.

La Fig. 5.5 esquematiza la estructura de funcionamiento de este módulo en el cual se pueden ver los dos bloques o procesos. En la columna izquierda están los correspondientes a los módulos que ejecutan subrutinas de Bernese. En la columna derecha están las rutinas que modifican los archivos INPUT de cada módulo. Para más información de los códigos de cada subrutina ver Anexo N° 2

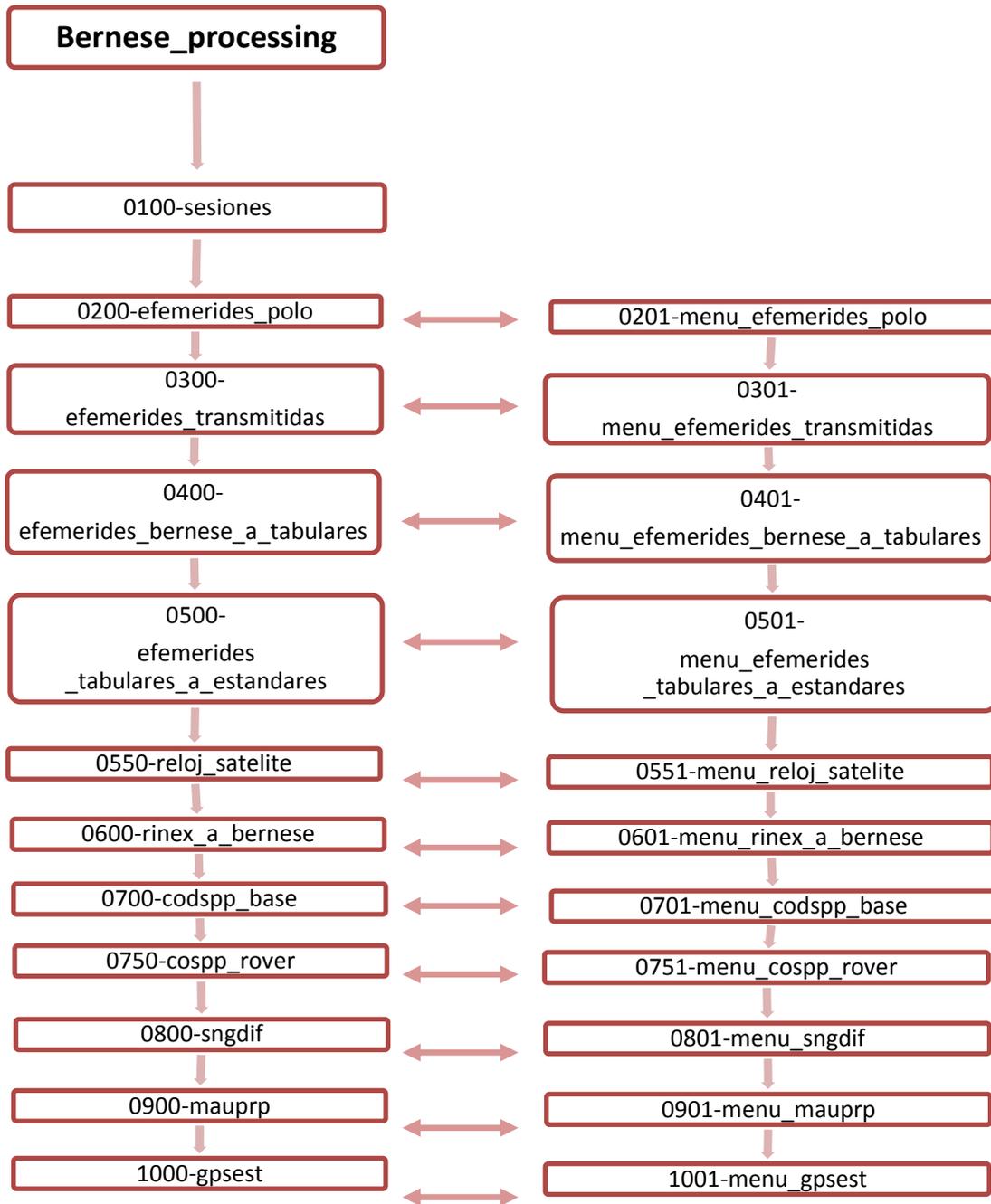


Fig. 5.6 Esquema de subrutinas ejecutadas desde Bernese\_processing.pl

*0100-sesiones.pl*: el objetivo de esta subrutina es crear el subdirectorio (o campaña) donde se gestionarán todos los archivos correspondientes al proceso. La campaña se denomina con un nombre compuesto, formado por la sigla “PAB” a la cual se le asocia el número de procesamiento interno de la computadora utilizada

en el procesamiento. Dicha campaña estará ubicada en el subdirectorío GPSDATA donde Bernese las identifica, gestionando archivos input como output. Al crear el subdirectorío propio de campaña, se generan simultáneamente los siguientes subdirectoríos: ATM, BPE, OBS, ORB, ORX, OUT, RAW, SOL y STA, conforme a la estructura de directorío de Bernese vista en el capítulo IV. En esta rutina se copian en el subdirectorío STA correspondiente a la campaña, los archivos ubicados en "C:\P\_A\_B\datos\_a\_priori".

Para ejecutar las subrutinas siguientes, donde se ejecutan los módulos de Bernese (POLUPD, BRDTAB, etc.), es necesario modificar los INPUT de cada uno, de acuerdo a la información extraída del archivo de observación enviado por el usuario.

Por lo tanto, cada subrutina tiene asociada una subrutina que modifica al archivo de configuración (INPUT) correspondiente. A estas subrutinas que tienen como objeto modificar los INPUT, se las ha llamado con el mismo nombre del módulo Bernese anteponiéndole el indicativo "menú" y en su numeración se ha modificado el último dígito del nombre del módulo Bernese. En la tabla 5.2 se ejemplifica lo anterior para el módulo de Bernese POLUPD.

Módulo Bernese	Subrutina ejecuta módulo Bernese	Subrutina modifica INPUT de menú
POLUPD	0200-efemerides_polo.pl	0201-menu_efemerides_polo.pl

Tabla Nº 5.2 Módulo de Bernese POLUPD y las subrutinas asociadas de ejecución y modificación de INPUT

Esta subrutina, con los datos "personalizados" de campaña y sesión de acuerdo al archivo de observación enviado por el usuario, busca el archivo INPUT en "c:\Proc\_Aut\_Bern\menues\_a\_priori\nombre del módulo.INP\_ORIGINAL" generando un nuevo archivo INPUT que es copiado en C:\GPSUSER\PAN, ubicación desde la cual la subrutina de módulo lo usará de acuerdo a la configuración que corresponda y según el tipo de dato con el que se trabaje.

Los archivos "Input" son aquellos necesarios para realizar la ejecución de los módulos de Bernese, los archivos "Output" son las salidas generadas por las rutinas y los archivos "Generales" son aquellos que cuentan con las constantes y modelos geodésicos, astronómicos, geofísicos y atmosféricos que se adoptan oportunamente en cada módulo.

En la Tabla 5.3, se muestra un resumen con la cantidad de pantallas que son necesarias configurar por cada módulo de Bernese correspondiendo en cada una de ellas, una significativa cantidad de variables, constantes y/o modelos a definir y/o seleccionar. Esta serie de configuraciones de "input" se han considerado en el PAB mediante el desarrollo de las correspondientes líneas de programación que conforman

la rutina. En la misma tabla se reporta la cantidad de líneas de programación desarrolladas por rutina. También se han resumido los archivos “Input”, “Output” y “Generales”. En otras palabras, las pantallas y sus configuraciones respectivas han sido reemplazadas por líneas de programación.

Módulo	Pantallas Bernese	Líneas Programación	Archivos		
			Input	Output	Generales
POLUPD	3	129	ERP	ERP	NUT,GPSUTC, SUB
RXNBV3	2	107	AAN	BRD	SAT INFO, CONST
BRDTAB	2	129	BRD, ERP	TAB	CONST, SUB, NUT, CRX
ORBGEN	7	168	TAB, ERP	STD	CONST, CRX, SAT INFO, EPH, SUB, NUT, JGM3, TID
SATCLK	3	133	BRD	CLK	CONST
RXOBV3	7	250	AAO, STA	CZH,CZO PZH,PZO	CONST, SAT INFO, CRX, ABB RECEIVER, PHASE, GPS-UTC
CODSPP	6	460	STD, CLK, CZH,CZO ERP, CRD	CRD, SME	CONST, SUB, NUT, SAT INFO, CRX RECEIVER, STA, DATUM, PHASE
SNGDIF	4	267	PZH,PZO	PSH, PSO,BSL	CONST, SAT INFO, DATUM, ABB
MAUPRP	9	220	PSH,PSO, CRD, STD, ERP, CLK, ION	CRD	CONST, DATUM, SUB, NUT, SAT INFO, CRX, STA, PHASE
GPSEST	13	373	PZH, CRD, STD, ERP, ION, STA, CLK	CRD	CONST, DATUM, CRX, PHASE,RECEIVER, SAT INFO, SUB, NUT, GPS-UTC

Tabla Nº 5.3 Líneas de programación-Programas-Archivos por cada módulo de Bernese

#### Referencias

ERP: archivo de parámetros de orientación terrestre

AAN: archivo de efemérides transmitidas

BRD: archivo de efemérides transmitidas en formato Bernese

TAB: archivo de efemérides tabulares

STD: archivo de efemérides estándar

CLK: archivo de relojes de satélites

AAO: archivo de observación

STA: archivo con la información de receptor, antena, radomes y alturas, correspondientes a las EP GPS de la red SIRGAS-CON

CRD: archivo de las coordenadas de EP GPS de la red SIRGAS-CON

CZH: archivo con información de las de observaciones de código en formato Bernese

CZO: archivo con las observaciones de código en formato Bernese

PZH: archivo con información de las observaciones de fase en formato Bernese

PZO: archivo con las observaciones de fase en formato Bernese

PSH: archivo con información de las combinaciones de simple diferencias de fase

PSO: archivo con las combinaciones de simple diferencia de fase

ION: archivo de modelo ionosférico

NUT: archivo de modelo de nutación  
 SUB: archivo de variaciones periódicas de la rotación terrestre  
 SAT INFO: archivo que contiene información de cada satélite  
 CONST: archivo que contiene los valores numéricos de constantes y los modelos físicos  
 DATUM: archivo de modelo de geoide y parámetros de datums respecto a WGS 84  
 CRX: archivo que reporta problemas de satélites  
 EPH: archivo con efemérides planetarias  
 JGM3: archivo con los coeficientes del modelo de potencial terrestre JGM-3  
 TID: archivo con los coeficientes de modelo de mareas oceánicas  
 ABB: archivo de abreviaturas de EP GPS  
 RECEIVER: archivo que contiene información respecto a distintos tipos de receptores  
 PHASE: archivo que contiene información de los offsets de antenas y correcciones a los centros de fase  
 GPS-UTC: archivo que contiene información de la diferencia entre tiempo GPS y UTC

#### 5.4.2.1 Rutinas de automatización de módulos de Bernese

En la etapa de automatización de los módulos de Bernese pueden distinguirse claramente a aquellos módulos que son parte del preprocesamiento de las observaciones con los que llevarán a cabo el procesamiento propiamente dicho. En la etapa de preprocesamiento, como ya se dijo, también es necesario preparar los datos relacionados con las efemérides.

Módulo Bernese	Subrutina ejecuta módulo Bernese	Subrutina modifica INPUT de menú
POLUPD	200-efemerides_polo	201-menu_efemerides_polo
RXNBV3	300-efemerides_transmitidas	301-menu_efemerides_transmitidas
BRDTAB	400-efemerides_bernese_tabulares	401-menu_efemerides_bernese_tabulares
ORBGEN	500-efemerides_tabulares_a_estandares	501-menu_efemerides_tabulares_a_estandares

Tabla Nº 5.4 Módulos de Bernese relacionados con el cálculo de órbitas y subrutinas asociadas

A continuación se realiza una breve descripción de las subrutinas relacionadas con las efemérides transmitidas.

*0200-efemerides\_polo.pl*: esta rutina busca en un directorio predeterminado el archivo con los parámetros de orientación terrestre correspondientes a la semana de observación y los transforma a formato Bernese utilizando el módulo "POLUPD"

*0201-menu\_efemerides\_polo.pl*: modifica "POLUPD.INP\_ORIGINAL" y el cambio lo coloca como "POLUPD.INP" en el directorio correspondiente.

*0300-efemerides\_transmitidas.pl*: como se trabaja con efemérides transmitidas, es indispensable transformar el archivo RINEX de navegación a formato Bernese. Una vez corrida la rutina de menú, se ejecuta el módulo “RXNBV3.exe”

*0301-menu\_efemerides\_\_transmitidas.pl*: modifica “RXNBV3.INP\_ORIGINAL” y el cambio lo coloca como “RXNBV3.INP” en el directorio correspondiente.

*0400-efemerides\_bernese\_a\_tabulares.pl*: transforma la información contenida en el archivo de efeméride transmitida en una efeméride tabular en el correspondiente sistema de referencia. Ejecuta el módulo “BRDTAB.exe”, luego de correr la subrutina de menú.

*0401-menu\_efemerides\_bernese\_a\_tabulares.pl*: modifica el archivo de configuración “BRDTAB.INP\_ORIGINAL” y el nuevo archivo con los cambios lo coloca como “BRDTAB.INP” en el directorio correspondiente.

*0500-efemerides\_tabulares\_a\_estandares.pl*: utilizando el archivo de efemérides tabulares. Este módulo, da como resultado efemérides estándares. Estas son el resultado de la integración numérica de las ecuaciones de movimientos. Ejecuta el módulo “ORBGEN.exe”.

*0501-Menu\_efemerides\_tabulares\_a\_estandares.pl*: Modifica “ORBGEN.INP\_ORIGINAL” y el cambio lo coloca como “ORBGEN.INP” en el directorio correspondiente.

Otro punto a considerar es la información de los relojes de los satélites. En este caso el módulo utilizado es SATCLK y las subrutinas asociadas se detallan en la Tabla 5.5

Módulo Bernese	Subrutina ejecuta módulo Bernese	Subrutina modifica INPUT de menú
SATCLK	0550-reloj_satelite.pl	0600-menu_reloj_satelite.pl

Tabla Nº 5.5 Módulo de Bernese y subrutinas asociadas a la corrección de reloj

*0550-reloj\_satelite.pl*: este módulo extrae, desde el archivo de efemérides transmitidas, información sobre los relojes de los satélites. Para ello se ejecuta “SATCLK.exe”

*0551-menu\_reloj\_satelite.pl*: permite modificar el archivo “SATCLK.INP\_ORIGINAL” de tal modo que el modificado se guarde como “SATCLK.INP”.

Luego de generadas las órbitas, continua lo correspondiente al archivo de observación enviado por el usuario, el cual se debe encontrar en formato RINEX.

Módulo Bernese	Subrutina ejecuta módulo Bernese	Subrutina modifica INPUT de menú
RXOBV3	0600-rinex_a_bernese	0600-menu_rinex_a_bernese

Tabla Nº 5.6 Módulo de Bernese y subrutinas asociadas – archivo de observación

*0600-rinex\_a\_bernese.pl*: el archivo RINEX enviado por el usuario, así como el correspondiente a la EP GPS seleccionada, se transforman al formato Bernese mediante “RXOBV3.exe” luego de haber corrido la correspondiente subrutina de menú, Tabla 5.6.

*0601-menu\_rinex\_a\_bernese.pl*: esta subrutina permite la modificación de “RXOBV3.INP\_ORIGINAL” de tal forma que genera el archivo “RXOBV3.INP” en el directorio que corresponda.

Una vez que se han preparado los datos de efemérides y de observación, se está en condiciones de realizar las tareas correspondientes al pre-procesamiento de las observaciones, tanto de la observación correspondiente a la estación permanente como la correspondiente a la observación enviada por el usuario. La Tabla 5.7 sintetiza las rutinas asociadas a este análisis de las observaciones.

Módulo Bernese	Subrutina ejecuta módulo Bernese	Subrutina modifica INPUT de menú
CODSP	700-codspp_base	701-menu_codspp_base
	750-codspp_rover	751-menu_codspp_rover
SNGDIF	800-sngdif	801-menu_sngdif
MAUPRP	900-mauprp	401-menu_mauprp

Tabla Nº 5.7 Módulos de Bernese y subrutinas asociadas - preprocesamiento

*0700-codspp\_base.pl*: para el archivo proveniente de la estación base

*0701-menu\_codspp\_base.pl*

*0750-codspp\_rover.pl*: para el archivo proveniente del usuario

*0751-menu\_codspp\_rover.pl*

Se ejecutan las subrutinas correspondientes al chequeo de código a través del módulo CODSPPP. La misma se ejecuta en forma separada en primer lugar sobre las observación de la estación de referencia o base y luego sobre los archivos de observación de la estación remota o rover. El objetivo de este módulo es calcular: las correcciones de reloj que aseguren la sincronización del reloj del receptor con respecto al tiempo GPS, utilizando las observaciones de código y las correcciones para la

determinación de las coordenadas aproximadas de la estación haciendo uso de las llamadas “zero diferencias”. También permite marcar los outliers en los archivos de observación.

Tanto para la estación base como para la estación remota, se modifica el archivo “CODSPP.INP\_ORIGINAL” y se ubica el nuevo archivo de configuración con los cambios en el directorio correspondiente.

La preparación de los datos GPS se lleva a cabo en un proceso separado o en forma conjunta con el programa principal de procesamiento. Todo depende de la estrategia y propósito del procesamiento de los datos. Sólo en el caso de aplicar técnicas del post procesamiento, las acciones a realizar en el preprocesamiento son posibles.

La detección de los saltos de ciclos es una de los más importantes trabajos en la preparación de datos. Hay dos tipos de saltos de ciclos: uno es reparable, y otro no reparable. Estos últimos son modelados de tal forma que terminan siendo una nueva incógnita.

*0800-sngdif.pl*: esta rutina ejecuta SNGDIF.exe. Con la misma es posible formar la línea base-rover, realizando el procesamiento diferencial mediante simple diferencias de las ecuaciones de fase de ambas estaciones. El archivo de salida es el correspondiente a la línea base de simples diferencias. El criterio utilizado en PAB para la formación de línea base es de selección manual, permitiendo formar líneas base tanto en código como en fase.

*0801-menu\_sngdif.pl*: esta subrutina permite la modificación de “SNGDIF.INP\_ORIGINAL” de tal forma que genera el archivo “SNGDIF. INP” en el directorio que corresponda.

*0900-mauprp.pl*: la subrutina ejecuta MAUPRP.exe. El principal objetivo es pre procesar las observaciones de fase. Por pre procesamiento se entiende: detectar y resolver saltos de ciclos, identificar y remover valores muy discordantes (outliers) y agregar las ambigüedades necesarias en los archivos de observación de fase, así como marcar las observaciones para ser excluidas en el pre procesamiento y análisis de datos. Algunos de los casos por lo que las observaciones se excluyen son los siguientes: observaciones de satélites bajos, épocas con observaciones no apareadas (L1 sin L2), pequeños segmentos de observación. En esta instancia se calculan las soluciones de triple diferencia como una referencia para la detección de los saltos de ciclo.

*0901-menu\_mauprp.pl*: esta subrutina permite la modificación de “MAUPRP.INP\_ORIGINAL” de tal forma que genera el archivo “MAUPRP. INP” en el directorio que corresponda.

Por último se realiza el procesamiento propiamente dicho de los archivos. El objetivo es obtener las coordenadas del punto sobre el cual se realizó la medición por parte del usuario y una estimación de su precisión (parámetros): La estimación de parámetros se realiza con el módulo GPSEST, Tabla 5.8.

Módulo Bernese	Subrutina ejecuta módulo Bernese	Subrutina modifica INPUT de menú
GPSEST	1000-gpsest	1001-menu_gpsest

Tabla N° 5.8 Módulo de Bernese y subrutinas asociadas - procesamiento

*1000-gpsest.pl*: la subrutina ejecuta GPSEST.exe. Este programa tiene como objetivo la determinación de varios parámetros, entre los cuales podemos mencionar: coordenadas de estación, parámetros de reloj del receptor, elementos orbitales, ambigüedades, offsets de antena, parámetros troposféricos para cada estación, parámetros estocásticos ionosféricos, etc.

*1001-menu\_gpsest.pl*: esta subrutina permite la modificación de "GPSEST.INP\_ORIGINAL" de tal forma que genera el archivo "GPSEST. INP" en el directorio que corresponda.

Con esta última rutina se terminan las etapas correspondientes al preprocesamiento y procesamiento de las observaciones GPS.

Debe señalarse que toda vez que se corre una rutina de Bernese, se genera un informe de salida donde se reporta la información de los archivos utilizados, la configuración utilizada para cada rutina y todo lo referente a los resultados de cada una de ellas. En el Anexo N° 3 se adjuntan a modo de ejemplo un reporte de salida, por cada una de las rutinas de Bernese POLUPD, RXNBV3, SATCLK, RXOBV3 y GPSEST.

Del reporte de salida generado por la rutina GPSEST se extraen los valores estimados de coordenadas geodésicas como así mismo la información referente a la estimación de su precisión. Esta información es utilizada para confeccionar el reporte a ser enviado al usuario.

### 5.4.3 Módulo de envío de resultados

Este módulo finaliza nuestro desarrollo enviando por correo electrónico y desplegando en la página WEB los resultados obtenidos (ver Fig. 5.7). El principal

resultado será las coordenadas en el marco de referencia POSGAR 2007, marco legal actual de la Argentina.

Junto con la información en formato de texto se elabora un mapa (haciendo uso del programa GMT, Generic Mapping Tool: <http://gmt.soest.hawaii.edu/>) en el que se localizan tanto la estación tomada como referencia como la ubicación de la medición del usuario.

La información llega escrita en formato PDF en un documento elaborado en LATEX(<http://www.latex-project.org/>) donde queda embebida la imagen del mapa elaborado (ver Fig. 5.8).



Fig. 5.7 Resultado utilizando Google Maps embebido en la página WEB de PAB

# Reporte del Procesamiento Diferencial GPS Automático

Archivo Procesado: igm11360.13o  
Marco de Referencia: ITRF 2005 (compatible con POSGAR 07)  
Estación de Referencia: uymo  
Longitud de la Base: 202.26 (Km)  
Coordenadas Geodésicas:  
Latitud: -34 ° 34 ' 20.1529 ''  
Longitud: -58 ° 26 ' 21.5420 ''  
Altura: 49.42 (mts)

Observacion: La precisión de las coordenadas es usualmente inferior a algunos decímetros

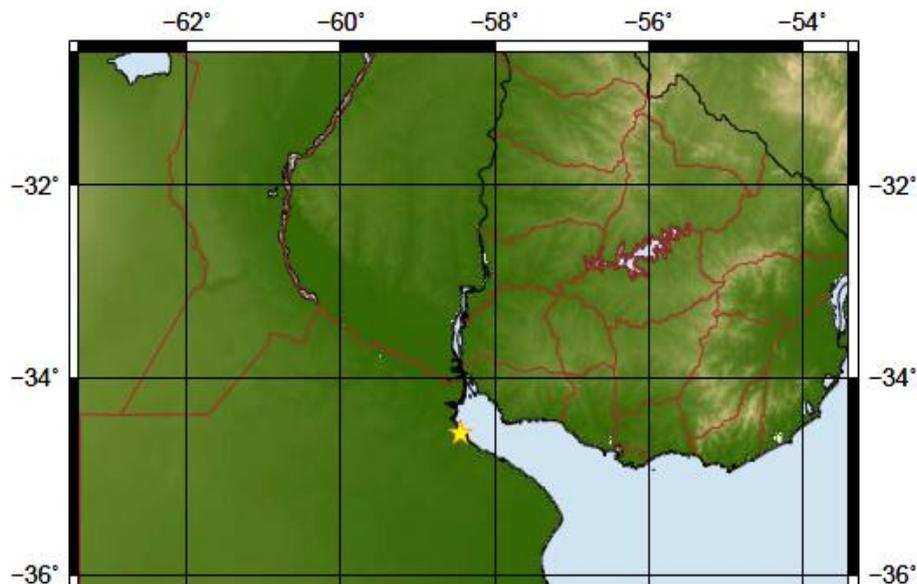


Fig. 5.8 Salida PDF adjunta por correo que le llega al usuario

## 5.5 Conclusiones

En este capítulo se ha explicado los criterios adoptados para el diseño de cada una de las rutinas que logran procesar de manera desatendida un archivo RINEX. También los correspondientes a las rutinas que ejecutan cada uno de los módulos de Bernese, tanto el módulo en sí, como las rutinas que modifican los archivos "INPUT" correspondientes.

También se explicitó tanto en las Tablas 5.1 y 5.3 el número de líneas de programación necesarias en cada rutina y los programas externos y/o módulos asociados.

Cuenta PAB con la ventaja de contar con archivos actualizados, tales como los referidos a los satélites (SAT INFO) y los problemas de los satélites (CRX). Bernese necesita de información actualizada. Esto implica un valor agregado respecto a programas comerciales, dado que la información de los problemas de satélites no pueden ser tenidos en cuenta.

En el caso de la información referida a receptores y antenas, los archivos que contienen dicha información están al alcance de un usuario conocedor de Bernese en el sitio correspondiente [<http://www.bernese.unibe.ch/download/>]. Los programas comerciales cuentan con la posibilidad de aplicar la información de centro de fase de antena pero no todos tienen la posibilidad de incluir la información correspondiente a receptores.

En este punto es importante remarcar que la configuración de cada uno de los módulos de Bernese exige una alta preparación. La ejecución desde un programa externo, ha requerido no sólo de criterios de programación sino los correspondientes a conceptos geodésicos, astronómicos, atmosféricos, geofísicos.

Estos son algunos ejemplos que acentúan la ventaja de utilizar un software científico, con la posibilidad de tener siempre actualizado la información de modelos geodésicos, astronómicos, geofísicos, etc. necesarios para su ejecución.

En este desarrollo, valiéndose de las ventajas de Bernese, se ofrece a distintos tipos de usuarios, con experiencia en el tema o no, la posibilidad de obtener resultados de un procesamiento de observaciones GPS de forma desatendida, con un software científico sin las complicaciones que genera el saber configurar un programa comercial y mucho menos uno científico. Tampoco necesita buscar por sí mismo buscar la información para la actualización de modelos, parámetros, etc.

# **Validación del Sistema PAB Desarrollado y Discusión de su impacto**

### **6.1 Introducción**

En el capítulo anterior se describieron las rutinas desarrolladas para automatizar cada uno de los pasos del procesamiento.

En este capítulo se presenta las acciones que permitieron verificar que el PAB desarrollado cumpliera con pautas de control de calidad dada por las siguientes tres condiciones:

- 1- Que los resultados obtenidos del procesamiento utilizando PAB fuesen idénticos a los logrados de procesar en modo manual y/o en modo automático de Bernese (BPE),
- 2- Que se tuviese mediante el PAB, la capacidad para realizar el procesamiento con distintos tipos de observaciones,
- 3- Que se verificase que la calidad de los resultados, correspondiera al orden de precisión teórico indicado por los fabricantes de receptores doble frecuencia y simple frecuencia.

Las condiciones mencionadas debían cumplirse de forma desatendida, es decir sin intervención del usuario tanto en la selección adecuada de la configuración como la correspondiente a la selección óptima de los parámetros y las estrategias de procesamiento para los distintos casos. Se puso a prueba el PAB de tal forma que se verificase su operatividad frente a diferentes situaciones contempladas como: disponibilidad de distintos observables, observaciones provenientes de distintos receptores y/o antenas, la longitud del vector a procesar, el tiempo de observación, etc.

Estas tres condiciones fueron evaluadas con diferentes archivos provenientes de diferentes marcas de receptores GNSS y con diferentes antenas. Buscando la generalidad para la validación, se trabajó con distintas condiciones atmosféricas (sesiones de alta y baja actividad ionosférica) y para distintas regiones de América del Sur, se utilizaron, a modo de experimentación archivos de observación provenientes de estaciones pertenecientes a la extensa red de receptores GNSS de medición continua SIRGAS-CON.

Si bien prácticamente todas las observaciones de distintos receptores utilizados son de doble frecuencia (L1-L2), las pruebas se hicieron con los datos originados por estos receptores y los mismos datos pero sin los observables de la portadora L2 (fase en L2 y código P).

## **6.2 Comparación de resultados del PAB respecto a otras modalidades de procesamiento**

El software Bernese, como se había explicado en el capítulo IV, tiene una gran ductilidad para poder aprovechar toda la potencia de un software científico. Cuenta con la posibilidad de trabajar:

- a) en forma manual, por módulos donde se requiere la máxima interacción con el usuario, quién deberá tener tanto los conocimientos teóricos para la selección de las configuraciones necesaria, como la experiencia en el uso del programa para ejecutarlo por módulos y tomar decisiones,
- b) utilizando el modulo propio de automatización de Bernese, llamado BPE (Bernese Processing Engine). Este modo de trabajo resulta muy útil, por ejemplo cuando se desea procesar observaciones de un mismo grupo de estaciones, sobre las cuales se ha medido en distintas sesiones reiteradamente. BPE permite automatizar la ejecución de los módulos utilizados, manteniendo la configuración de los mismos, de tal forma de evitar la repetición de esta tarea. En este caso, si bien hay menor interacción por parte del usuario, que en el modo manual, sin embargo se sigue necesitando su accionar y conocimiento tanto para el manejo del programa como para la configuración de la estrategia de procesamiento y por último
- c) en la forma desatendida a partir del nuevo programa de automatización desarrollado. En este caso la intervención del usuario es mínima y se circunscribe al envío del archivo de observación y la recepción del reporte correspondiente con los resultados del procesamiento realizado. La selección de las variables y modelos de la configuración se realizará entre las diferentes opciones previamente definidas como parte del desarrollo del PAB, por lo cual el usuario no debe tener conocimientos sobre procesamiento ni sobre el programa.

Tanto el procesamiento manual cómo el que utiliza BPE, requieren la elección de al menos cincuenta opciones dentro de la estrategia de procesamiento, que permitirán el cálculo de las coordenadas finales. La elección de cada una de estas opciones, como se mencionó en el capítulo IV, requiere un usuario entrenado y con conocimientos específicos en el manejo del software.

BPE es muy útil cuando se tienen grandes cantidades de datos a procesar, bajo las mismas configuraciones, sin embargo debe notarse que en esta forma, no es posible realizar procesamientos de datos de modo diferenciado en una misma ejecución., para

distintos tipos de observaciones. Es decir, se diseña en la modalidad BPE el correspondiente Archivo de Control del Proceso (PCF), para “determinadas condiciones” con su correspondiente configuración, si varían estas condiciones, BPE por sí sólo, no decidirá una nueva configuración de procesamiento, sino que el usuario deberá especificar una nueva estrategia que podrá ser definida manual o a través del diseño de un nuevo PCF. Requiere la participación activa de un operador capacitado. Bajo esta condición no resuelta por BPE, es que se plantea la solución a través del desarrollo del PAB en esta tesis.

En esta parte del trabajo el objetivo fue validar:

- ✓ El procesamiento de archivos de observación de manera desatendida, sin necesidad alguna de interacción por parte del usuario salvo para enviar el archivo
- ✓ La coherencia de resultados numéricos se evaluó la coincidencia de resultados al realizar el procesamiento con PAB, en modo manual y aplicando el modo automático de Bernese (BPE).

Se programaron rutinas por cada módulo de Bernese, de tal forma que resolviera caso por caso en función de los requerimientos y teniendo en cuenta los diferentes receptores y antenas posibles y la ubicación donde se realizaron las mismas.

Una vez diseñada una determinada rutina del PAB, se realizó la comparación numérica entre las salidas correspondientes de aplicar el procesamiento mediante PAB, mediante el modo manual y mediante BPE. Esto se repitió utilizando en los tres casos la misma configuración y tantas veces como rutinas se generaron.

Tal como se explicó en el Capítulo V, se desarrollaron en total 24 rutinas en PERL, con un total de 2850 líneas de programación, y el diseño y gestión de 15 archivos generales. En cuanto a los archivos de observación se trabajó con 230 archivos que presentaban distintas características que podrían ser limitantes en la normal ejecución del PAB.

Sólo se pasaba a la siguiente rutina, sí la comparación arrojaba resultados idénticos. Finalmente, una vez comprobadas todas las rutinas configuradas se contrastaron los resultados finales haciendo correr la totalidad de las rutinas configuradas y secuenciadas para aquellas que así lo requería. Luego de realizados todos los ajustes necesarios fue posible comparar los resultados con respecto a los obtenidos por los otros dos métodos. En todos los casos pudo corroborarse la igualdad en los resultados

### **6.3 Robustez de PAB en condiciones de posibles fallos**

Como se dijo anteriormente, las pruebas se realizaron seleccionando al menos una vez a todas las estaciones que componen las bases de datos GNSS: SIRGAS-CON y RAMSAC. Las mismas cuentan con receptores doble frecuencia (L1-L2), sin embargo

para evaluar el comportamiento de PAB para datos de simple frecuencia (L1) se manipularon los mismos para quitarles la información de la portadora L2 en fase y código.

Entre algunas de las condiciones mínimas que deben cumplir los archivos de observación, tanto del usuario como de la EP base, para ser procesados por PAB están:

- Nombre del punto: con el nombre del punto, se genera la correspondiente abreviatura (de cuatro y dos dígitos), que permite a Bernese identificar el punto y la relación correspondiente para la nomenclatura de la línea base,
- Información de antena, receptor y altura de antena: de no figurar estos parámetros en el encabezado del archivo RINEX a procesar, no es posible aplicar las correcciones al centro de fase de la antena PCV (Phase Center Variation) que toda antena calibrada tiene, y la corrección por altura de antena impidiendo de este modo que los resultados del procesamiento sean los óptimos.

A continuación se detallan algunos casos donde se plantearon situaciones forzadas para poner a prueba la robustez o no del sistema a tales inconsistencias.

Mediante PAB se pudieron procesar archivos RINEX con las siguientes particularidades;

- a. Poseían más de una constelación GNSS (GPS, GLONASS, SBAS, Galileo), sobre los cuales se configuró que se procesaran solo las observaciones GPS
- b. Poseían más de 13 satélites por época y por lo tanto una doble línea de época en la observación RINEX ya que no se pueden indicar más de 12 observaciones de satélites por fila si esta se limita a 72 caracteres. Este hecho suele ser un problema en programas viejos donde la lectura del formato RINEX está mal implementada.
- c. Tenían extensos comentarios luego del encabezamiento del archivo (post header comments)
- d. Excedían de la medianoche en tiempo universal extendiéndose por más de un día
- e. No había coincidencia entre el nombre del sitio referido en los primeros cuatro dígitos del nombre del archivo RINEX enviado por el usuario, con el nombre del sitio especificado en el Header del archivo Rinex ("MARKER NAME").
- f. No había coherencia entre la indicación de la fecha que figuraba en el nombre del archivo RINEX (día GPS dentro del año ) y la fecha de las observaciones en el contenido interno del mismo
- g. El tipo de antena especificada en el encabezado del archivo no figuraba en el listado de antenas calibradas por el IGS, del cual era posible extraer la corrección por PCV. En este caso no se realizan correcciones por centro de fase y las medidas quedan referidas al dipolo eléctrico de la antena. Teniendo el usuario que vincular por su cuenta este lugar con la marca física, es decir el

punto fijo del IGN o una marca catastral. La falta de corrección por centro de fase es habitualmente despreciable para aplicaciones topográficas, ya que su error es menos a los 2 centímetros.

Estas situaciones fueron evaluadas ya que al menos ciertos programas comerciales no soportan estas inconsistencias impidiendo el procesamiento. En todos los casos mencionados el PAB se configuró de tal forma que pudo dar respuesta a las inconsistencias presentadas y fue capaz de realizar el correspondiente procesamiento.

Una vez satisfecha la problemática con respecto a las inconsistencias en los archivos de observación se procedió a realizar el análisis de la precisión.

Este nuevo análisis tiene por objetivo asegurar que los resultados del procesamiento obtenidos y sus estimadores de error satisficieran las precisiones esperadas según se describe en la bibliografía.

#### **6.4 Precisión teórica del posicionamiento diferencial con postproceso**

Los fabricantes de receptores informan a los usuarios la calidad de los mismos mediante parámetros estándar, como son precisión expresada en una constante  $a$  (mm) y una variable  $b$  (ppm) en función de la medida de la distancia del vector procesado, la capacidad de la memoria, tiempo de observación (sugerido por los fabricantes según el tipo de método de medición), condiciones atmosféricas extremas en las que puede trabajar, etc.

En lo que respecta a precisión, el fabricante suele publicar la precisión esperada en la medición de una línea base, en condiciones óptimas, ya sea en modo estático, stop and go, y/o cinemático.

En este caso, por tratarse de un posicionamiento diferencial estático, se considera para el análisis la precisión relativa que está definida por la siguiente ecuación:

$$P = a \text{ (mm)} + b \text{ (ppm)} * D \text{ (Km)} \quad 6.1$$

P: precisión

a: constante

b: parte proporcional

D: distancia de la línea base

En las tablas 6.1 y 6.2 se presentan, a modo de ejemplo, los valores de precisiones teóricas horizontal y vertical en función de la distancia entre base y móvil para un equipo geodésico del mercado. Las distancias indicadas corresponden a las longitudes de los vectores utilizados en el análisis de precisiones realizado en este capítulo (ver punto 6.5).

Precisión horizontal (3 mm+ 0,5 ppm*D)			
Distancia (km)	a (mm)	b (ppm)	precisión (mm)
33	3	0,5	19,5
103	3	0,5	54,5
156	3	0,5	81
420	3	0,5	213
732	3	0,5	369

Tabla 6.1 Precisión horizontal receptor

doble frecuencia - Topcon GPS GR-5

Precisión vertical (5 mm+ 0,5 ppm*D)			
Distancia (km)	a (mm)	b (ppm)	precisión (mm)
33	5	0,5	21,5
103	5	0,5	56,5
156	5	0,5	83
420	5	0,5	215
732	5	0,5	371

Tabla 6.2 Precisión vertical receptor

doble frecuencia - Topcon GPS GR-5

(<http://www.topconpositioning.com/products/gps/receivers/gr-5>)

Para receptores simple frecuencia, se debe tener en cuenta, de la misma forma que para aquellos de doble frecuencia, las indicaciones del fabricante. Con este tipo de receptores, no es conveniente trabajar con vectores (línea base) que superen los 30 km.

En las Tablas 6.3 y 6.4 se presentan, a modo de ejemplo, los valores de precisiones teóricas horizontal y vertical para un equipo monofrecuencia del mercado. De igual manera que en el ejemplo anterior ésta se calcula en función de la distancia entre base

y móvil. Las distancias indicadas corresponden a las longitudes de los vectores utilizados para el análisis de precisiones (ver punto 6.5).

Precisión horizontal (5 mm+ 0,5 ppm*D)			
Distancia (km)	a (mm)	b (ppm)	precisión (mm)
33	5	0,5	21,5
103	5	0,5	56,5
156	5	0,5	83
420	5	0,5	215
732	5	0,5	371

Tabla 6.3 Precisión horizontal receptor  
simple frecuencia – Trimble R3

Precisión vertical (5 mm+ 1.0 ppm*D)			
Distancia (km)	a (mm)	b (ppm)	precisión (mm)
33	5	1	38
103	5	1	108
156	5	1	161
420	5	1	425
732	5	1	737

Tabla 6.4 Precisión vertical receptor  
simple frecuencia – Trimble R3

[http://www.trimble.com/trimbler3\\_ds.asp](http://www.trimble.com/trimbler3_ds.asp)

### **6.5 Análisis de las precisiones obtenidas con PAB mediante experiencias realizadas de posicionamiento diferencial**

A fin de comprobar la precisión de los resultados, se seleccionaron algunas observaciones aisladas de las siguientes EP ubicadas en Argentina CFAG (Coronel Fontana, Argentina), CSLO (Complejo Astronómico Leoncito), MZAC (Mendoza Centro), CATA (Catamarca) y UNRO (Universidad de Rosario).

Se eligió a la estación CFAG, como estación base, considerando a las restantes como estaciones móviles o relativas, simulando a usuarios ubicados en las mismas y por consiguiente a distintas distancias de la base (Fig. 6.1).

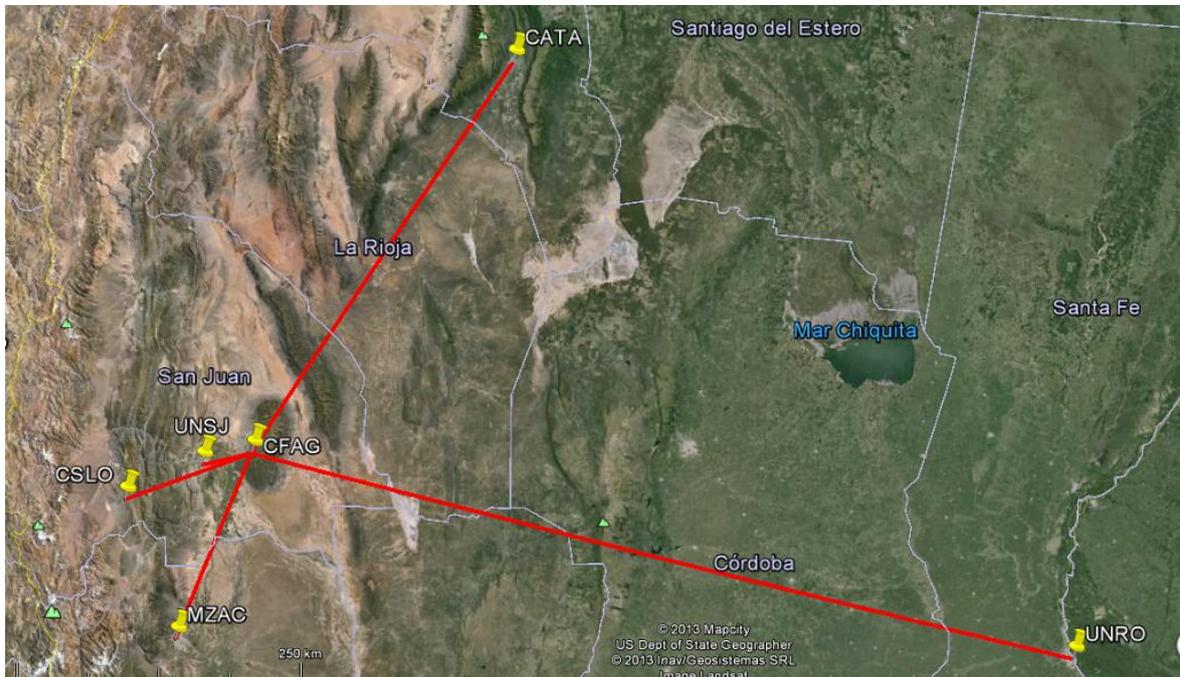


Fig. 6.1 Ubicación de las EP GPS utilizadas

Estación	UNSJ	CSLO	MZAC	CATA	UNRO
CFAG	33 km	103 km	156 km	420 km	732 km

Tabla 6.5 Distancias desde CFAG (base) hacia las EP GPS móviles.

Tal cual se dijo en el capítulo referente a las características de una EP GPS (ver Cap. III), estas reciben y almacenan diariamente observaciones, con un intervalo de registro de 15 segundos o menor y en todos los casos, disponen de receptores doble frecuencia.

Como muestreo para esta experiencia se procesaron observaciones de los días GPS 010, 020 y 030 de las semanas GPS 1566, 1567 y 1568 (año 2010) seleccionadas al azar.

Los archivos de observación se descargaron del sitio web oficial de la red RAMSAC [<http://www.ign.gov.ar/AreaProfesional/Ramsac/DescargaRinex>].

Es conocido que la precisión varía según la duración de la sesión, por lo tanto se consideraron para esta validación cuatro sesiones de distinta duración (Tabla 6.7). Por tal motivo, una vez descargados los archivos de observaciones, y haciendo uso del

programa TEQC (Translate, Edit, Quality y Check), [facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html], que permite transformar archivos de observación de formato propietario a rinex, editarlos y chequear la calidad de las observaciones, se generaron para cada estación, por cada día, archivos de observación de 12 horas, 6 horas y 2 horas tanto en simple como en doble frecuencia.

Los valores de las coordenadas de referencia utilizados como control, son aquellos brindados por SIRGAS, para la semana 1567. Estos se obtuvieron desde el sitio web oficial de SIRGAS [ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/1567/.], del archivo "sir10P1567.crd"

	Latitud	Longitud	Altura (m)
CFAG	-31° 36' 7,800123"	-68° 13' 57,53193"	702,5546
CATA	-28° 28' 15,544591"	-65° 46' 26,834761"	547,1763
CSLO	-31° 47' 5,592431"	-69° 18' 7,968592"	2638,7899
MZAC	-32° 53' 42,548384"	-68° 52' 32,063919"	859,8550
UNRO	-32° 57' 33,669163"	-60° 37' 42,330664"	66,8691
UNSJ	-31° 32' 28,526548"	-68° 34' 37,417286"	708,9188

Tabla 6.6 Coordenadas de referencia de EP GPS utilizadas

	Desde las 0 a las 2 hs	Desde las 0 a las 6 hs	Desde las 0 a las 12 hs	Desde las 0 a las 24 hs
L3	A	B	C	D
L1	E	F	G	H

Tabla 6.7 Sesiones procesadas

El tiempo mínimo de observación considerado fue de 2h de observación.

Tal cual se dijo en el capítulo V, cada módulo de Bernese genera un reporte. Para el último módulo utilizado, GPSEST, el reporte tiene varias partes. En la parte final se encuentran, como uno de los resultados más importantes, las coordenadas estimadas del punto, cuya observación ha sido procesada.

Se muestra en la Fig. 6.2 la parte del reporte correspondiente al módulo GPSEST, del cual se extrajeron las coordenadas.



		Diferencias en Latitud (m)				
		Distancia (km)	24 h	12 h	6 h	2 h
Latitud	33				0,0234	0,0304
	103	0,0195	0,0194	0,0196	0,0344	
	156	0,0247	0,0627	0,0300	0,0428	
	420	0,0034	0,0075	0,0116	0,0057	
	732	0,0253	0,0326	0,0292	0,0046	

Tabla 6. 8 Diferencia en la latitud (coord. procesada - coord. control)

		Diferencias en Longitud (m)				
		Distancia (km)	24 h	12 h	6 h	2 h
Longitud	33				0,0421	0,0436
	103	0,0427	0,1128	0,0498	0,0571	
	156	0,0522	0,1139	0,0425	0,0023	
	420	0,0393	0,0066	0,0510	0,0535	
	732	0,0298	-0,0131	-0,0111	-0,0070	

Tabla 6.9 Diferencia en longitud (coord. procesada - coord. control)

		Diferencia en Altura (m)				
		Distancia (km)	24 h	12 h	6 h	2 h
Altura	33				0,0148	0,0373
	103	-0,0300	-0,0275	-0,0282	-0,0279	
	156	0,0076	0,2969	0,0267	0,0871	
	420	0,0546	0,0675	0,0660	0,0841	
	732	-0,1510	-0,0755	-0,0689	-0,0689	

Tabla 6.10 Diferencia en altura (coord. procesada - coord. control)

Los valores correspondientes para las observaciones de 24 horas y 12 horas para las distancias de 33 km, no se computaron, debido a que sólo se contaban con observaciones de las 12 primeras horas para ellas en esos días.

## 6.7 Análisis de resultados

Con todas estas tablas, fue posible graficar las diferencias, en valor absoluto, tanto en su posición horizontal como en altura, por día, por duración de sesión y por tipo de procesamiento según el observable. Se presentan a continuación los resultados del procesamiento para la combinación L3 y posteriormente para L1. En todos los casos se presentan valores promedios de los 3 días para las 4 sesiones y luego se presenta en detalle para los tres días los resultados obtenidos con la sesión de 2 horas, dado que esta es por un lado la más comprometida y por otro lado la que se asemeja más a los tiempos de observación de un usuario que persigue producción.

Los resultados se han analizado en forma separada para posición horizontal y para la altura dado que esta, como se conoce, queda determinada con menor precisión.

### 6.7.1 Resultados del Procesamiento con PAB del observable L3

Como ya se expresó, al contar con observaciones en doble frecuencia de las EP, ha sido posible procesar utilizando la combinación lineal L3. Se presentan a continuación las diferencias entre las coordenadas obtenidas de procesar con esta combinación respecto a las de referencia.

Se promediaron los resultados obtenidos, para los tres días (día GPS 010, 020 y 030, año 2010), para cada una de las sesiones anteriormente indicadas (2 h, 6 h, 12 h y 24 h) tanto en coordenadas horizontales (Fig. 6.3) como en altura (Fig. 6.4).

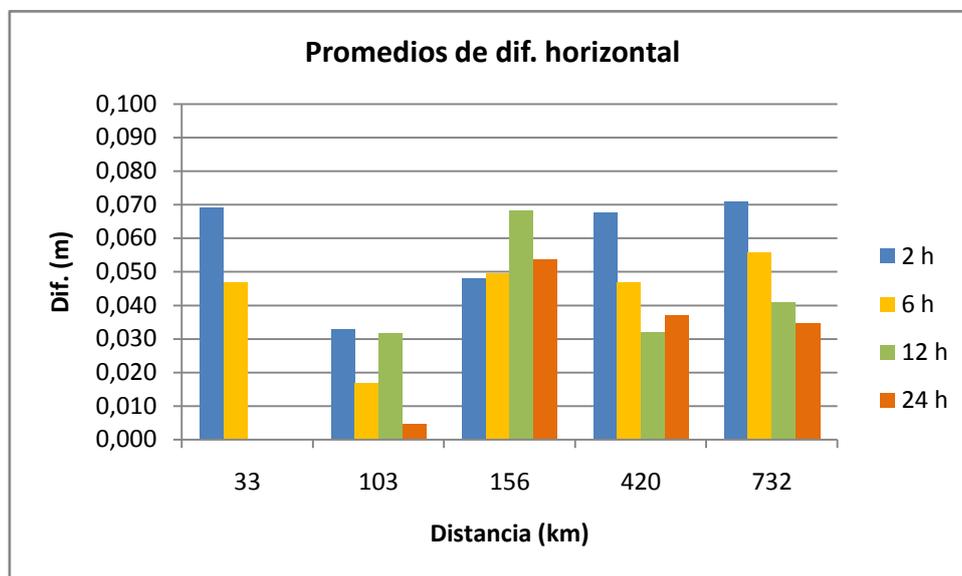


Fig. 6.3 Promedios de las diferencias en la posición horizontal en función de la duración de la sesión. Observable L3

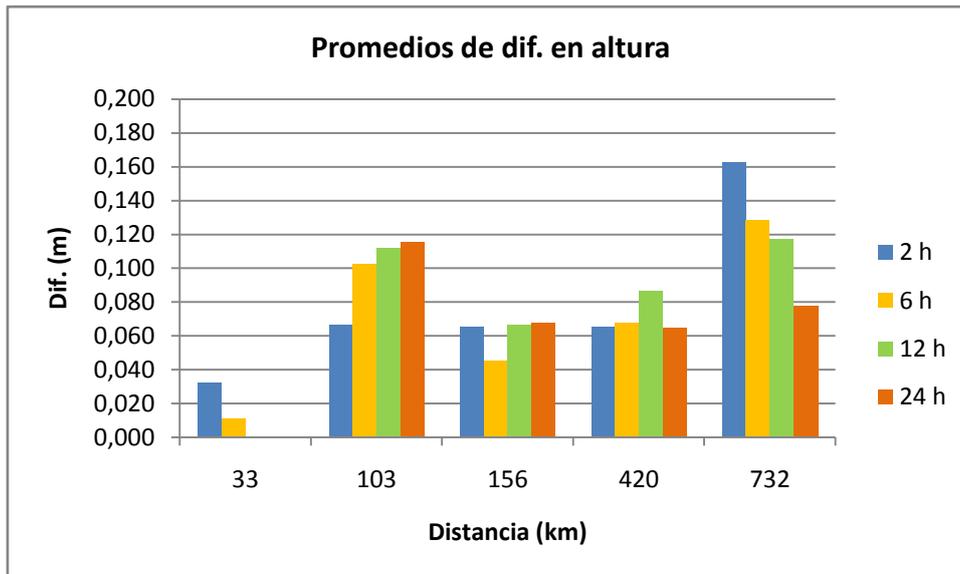


Fig.6.4 Promedios de las diferencias en la altura en función de la duración de la sesión. Observable L3.

En ambas figuras se puede notar la variabilidad de los resultados para distintos tiempos de procesamiento. Se observa una mejora en precisión para las sesiones más largas. Esto último es más notable en las diferencias de posición horizontal. También se aprecia que para distancias menores a 100 km, las diferencias, tanto horizontales como en altura, obtenidas están en el orden de precisión indicada por el fabricante.

En términos generales, los usuarios, con receptores doble frecuencia, cuya medición no tenga como finalidad fines científicos, rara vez miden más de 6 horas. Este tipo de sesiones cortas o medias, son las comúnmente utilizadas en proyectos de ingeniería, en vinculación de relevamientos al sistema de referencia oficial, georreferenciación de parcelas, etc. Las Fig. 6.3 y 6.4 muestran que las precisiones obtenidas varían unos pocos centímetros, alcanzando claramente las precisiones teóricas (Tablas 6.1 y 6.2).

En la Fig. 6.5 se vuelcan, sólo para las sesiones de 2 horas de duración, las diferencias promedios de los tres días de observación, tanto en lo horizontal como en altura. Las diferencias encontradas están dentro de las precisiones indicadas por los fabricantes. Teniendo en cuenta, que en general, los profesionales de la ingeniería y aquellos que hacen relevamientos de posicionamiento (geofísicos, geólogos) cuando utilizan receptores doble frecuencia, rara vez realizan observaciones para distancias superiores a los 200 km, las diferencias permiten afirmar que el resultado para esas necesidades, se ven satisfechas con las precisiones alcanzadas.

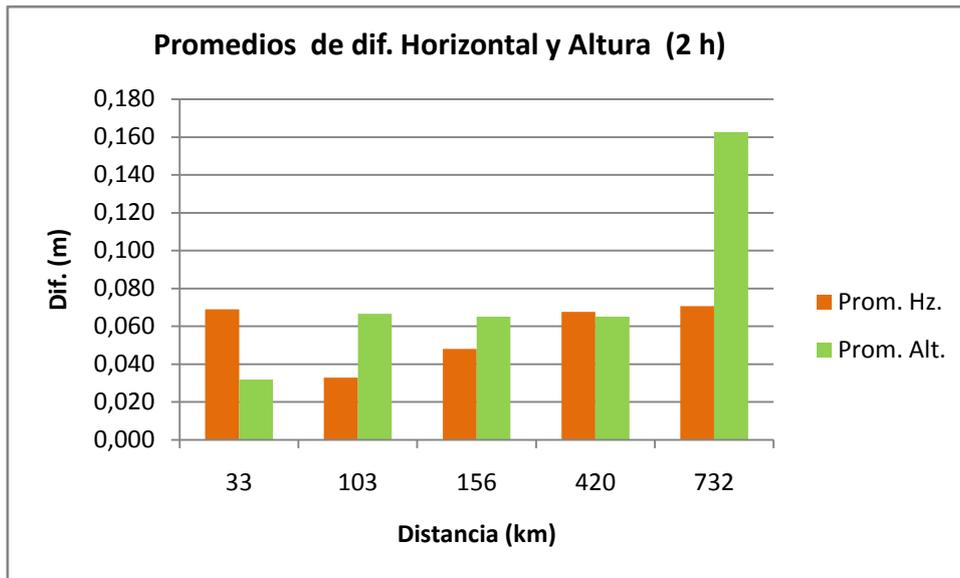


Fig. 6.5 Promedios de diferencias en la posición horizontal y altura para sesiones de 2 horas de medición. Observable L3.

### 6.7.2 Resultados del Procesamiento en PAB con L1

En el campo de los receptores monofrecuencia, las distancias (entre base y equipo remoto) límites de trabajo recomendables, no deberían superar los 30 km.

En las Fig. 6.6 y 6.7 está reflejado el promedio de las diferencias en la posición horizontal y en altura respectivamente, obtenidos para cada una de las cuatro tipos de sesiones consideradas (2h, 6h, 12h y 24 h).

Se observa claramente que para vectores cortos (33 km) las precisiones siguen siendo centimétricas. A mayores distancias, procesando sólo la fase L1, la precisión disminuye considerablemente, desde los 10 cm obtenidos procesando la combinación lineal L3 (Fig. 6.5) hasta un rango de 20 cm y hasta 80 cm procesando solo la fase de L1 (Figs. 6.6 y 6.7), según la distancia conforme sin embargo con las condiciones de precisión indicadas por los fabricantes para este tipo de receptores.

La mejora de la precisión en función del tiempo de observación para este caso se evidencia para las alturas Teniendo en cuenta que se trata de observaciones con L1 solamente, se nota más sensible la mejora de precisión en vectores mayores a los 200 km, que es una distancia no recomendable de trabajo para receptores monofrecuencia.

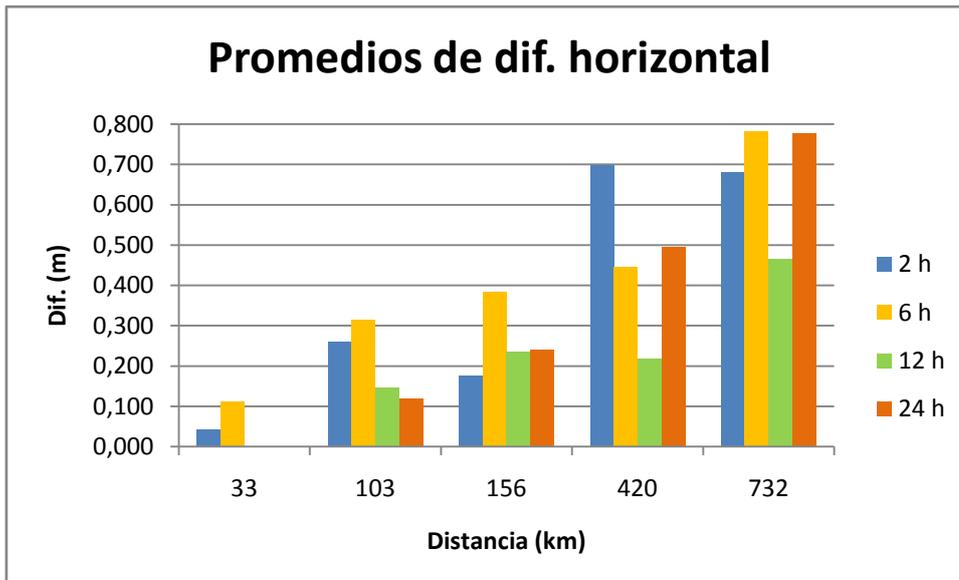


Fig. 6.6 Promedios de diferencias en la posición horizontal en función de la duración de la sesión. Observable L1.

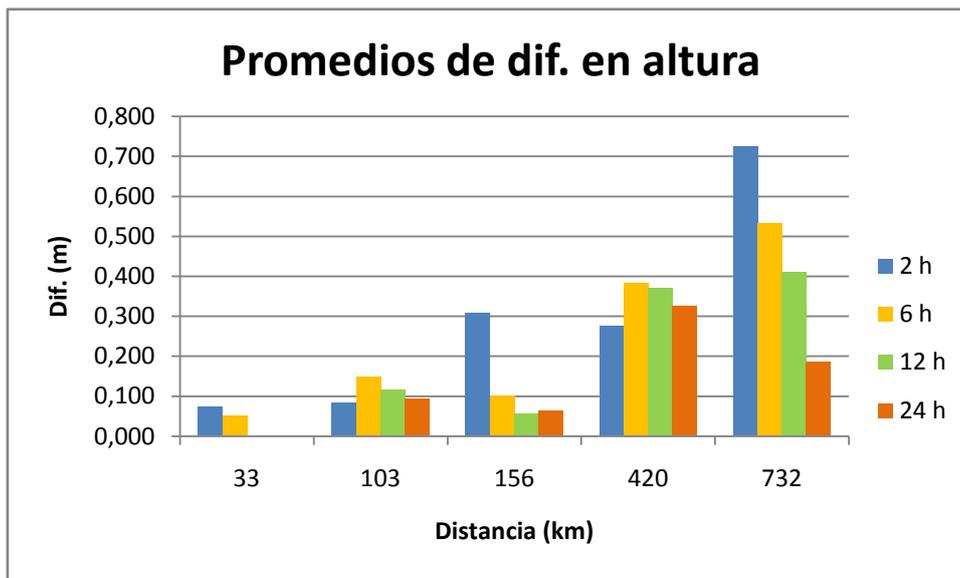


Fig. 6.7 Promedios de diferencias en la altura en función de la duración de la sesión. Observable L1.

De la misma forma que se procedió en el procesamiento con L3, se realizó el análisis para la sesión más corta (2h) que presenta una mayor probabilidad de ocurrencia entre los usuarios.

En las Fig. 6.8 están graficados los promedios de las diferencias para las sesiones de 2 horas de los 3 días. Se puede observar, como las diferencias crecen en función de la distancia tanto en la posición horizontal como en altura. Si bien como se dijo anteriormente, la distancia máxima recomendada a considerar, si se trabaja con una

sola frecuencia, es de 30 km también se ha analizado la precisión para distancias mayores.

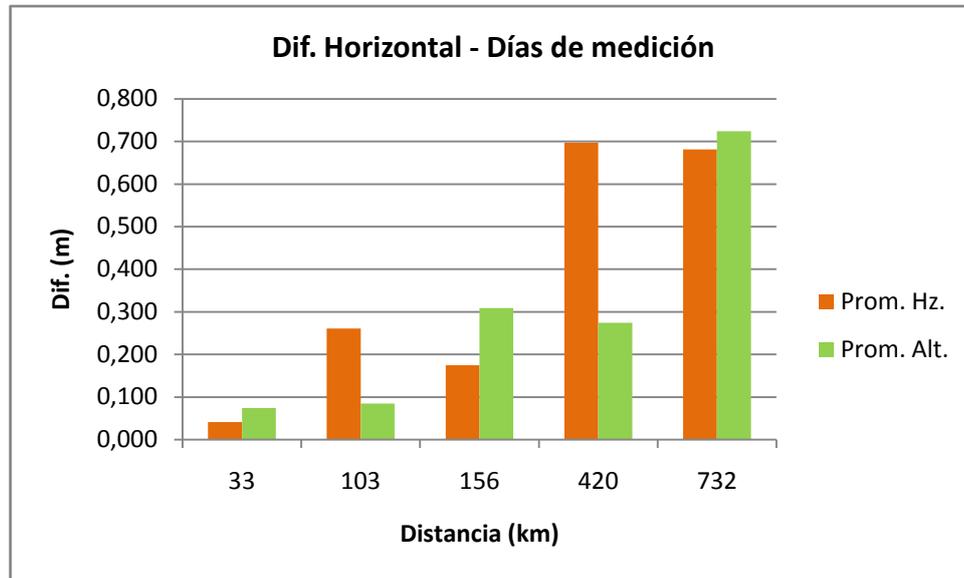


Fig. 6.8 Promedios de diferencias en la posición horizontal y altura para sesiones de 2 horas. . Observable L1.

Para 33 km, las diferencias tanto horizontales como en altura están en el orden centimétrico indicado por el fabricante. En distancias menores a los 200 km se lograron precisiones mejores que 30 cm.

Tanto en posición horizontal como en altura, las diferencias obtenidas están en el orden esperado para procesamientos de una sola frecuencia. Se debe remarcar que en general la precisión en altura, de acuerdo a la bibliografía existente y con los correspondientes manuales de los receptores, es siempre menor que la correspondiente precisión horizontal. Es en altura, donde todavía la tecnología GPS debe seguir desarrollando y mejorando las técnicas de medición y los correspondientes algoritmos, a fin que se pueda aprovechar aún más esta tecnología.

Se puede observar que para las distancias de trabajo recomendadas para receptores monofrecuencia (menores a 30 km) las diferencias obtenidas resultaron en el orden de las precisiones teóricas de trabajo (Tablas 6.3 y 6.4) Además se puede agregar que para distancias del orden de los 100 km, estas diferencias pueden ser aceptables para una amplia gama de aplicaciones.

### 6.8 El Procesamiento Automático Bernese y el retardo ionosférico

Cómo se dijo en el capítulo referido a errores de las observaciones GPS, la ionosfera es una de las regiones de la atmosfera que produce errores en la propagación de la señal. Estos son eliminados al utilizar en el procesamiento el

observable L3 o combinación libre de ionosfera, que surge de la combinación de L1 y L2 según la ecuación 2.17b

$$L_3 = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2),$$

En el caso de receptores monofrecuencia, este error no puede ser eliminado.

Recordemos que la ionosfera es aquella parte de la atmosfera, en la cual los iones libres, cuya cantidad es variable, afectan la propagación de las ondas de radio. La generación de iones y electrones es proporcional a la intensidad de radiación solar y el retardo que se genera dependerá de la densidad del medio donde se propague la señal, de la ubicación relativa del punto de medición con respecto al satélite y de la hora del día y a la época del año en que se realiza la medición.

El efecto de la ionosfera sobre la señal, es proporcional a la distancia entre los puntos de la línea base procesada y en cuanto la actividad ionosférica se incrementa, también se incrementa sus efectos sobre las mediciones GPS. Las horas de mayor actividad ionosférica se dan generalmente en horas posteriores al mediodía local.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó el procesamiento de observaciones de 2 horas de duración, considerando un horario de baja actividad ionosférica (a partir de las 21 hs Hora Oficial Argentina (HOA), o sea 0 hs de TU y otro de alta actividad ionosférica desde las 15 hs de HOA, o sea 18 hs de TU. Las observaciones utilizadas son las correspondientes a los días indicados precedentemente.

En las Figs. 6.9 y 6.10 se muestran las diferencias promedios, para los días de observación, tanto horizontales como en alturas para mediciones con L1, en la sesión de baja y alta actividad ionosférica.

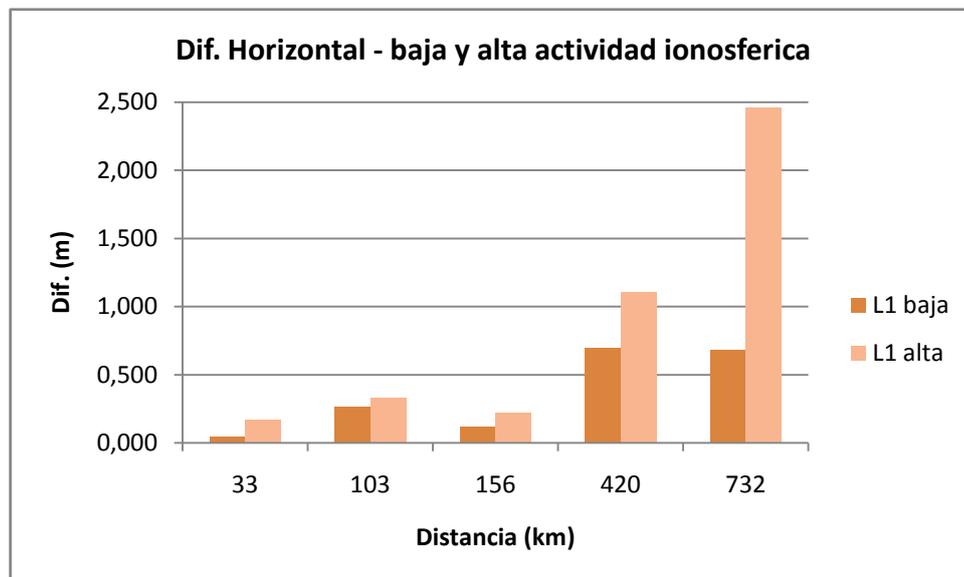


Fig. 6.9 Diferencias horizontales promedio, en horas de baja y alta actividad ionosférica

Se aprecia que la diferencia horizontal es mayor en horas de alta actividad ionosférica y que la misma aumenta considerablemente en función del aumento de la longitud de la línea base.

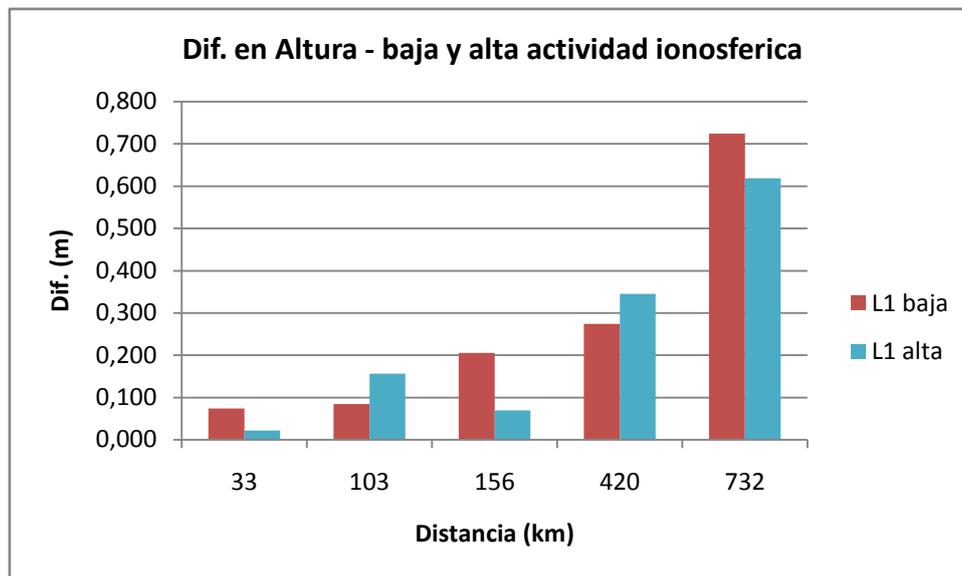


Fig.6.10 Diferencias en altura promedio, entre horas de baja y alta actividad ionosférica

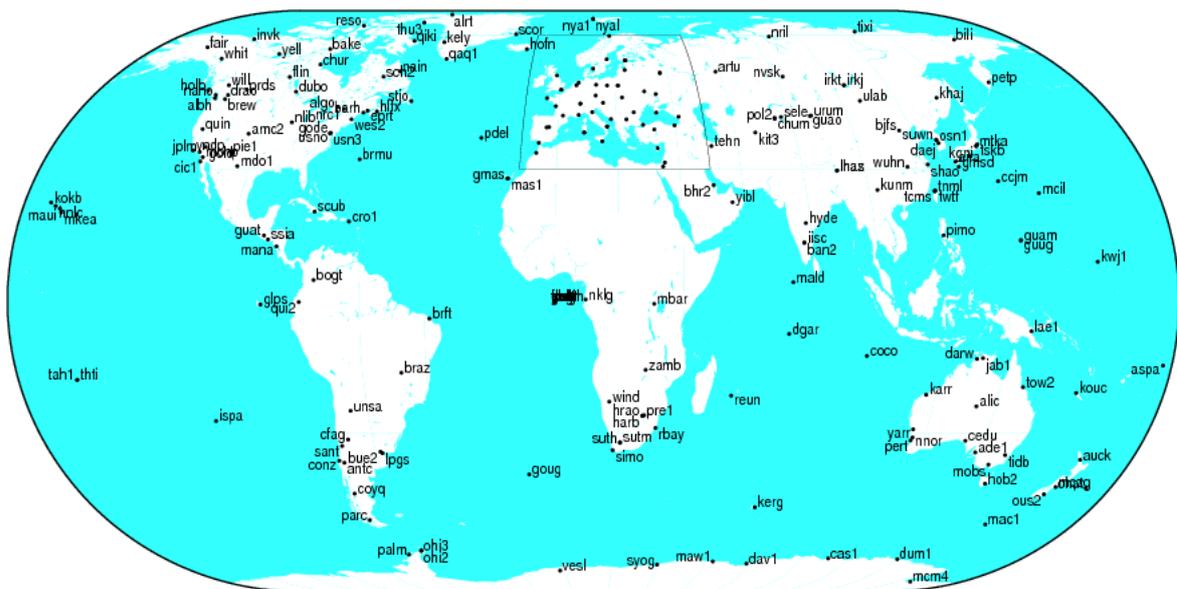
Se observó una mayor influencia de la actividad ionosférica sobre la posición horizontal que sobre la altura. Conforme a los antecedentes, la influencia del retardo atmosférico aumenta con la distancia a la estación base, dado que hay mayor probabilidad de que las condiciones de la ionosfera varíen al aumentar la separación entre los extremos de la línea base.

Una forma de disminuir el efecto sobre las mediciones en L1, es utilizando un modelo ionosférico, como por ejemplo el modelo Klobuchar [Klobuchar, 1987]. El mismo está descrito por ocho coeficientes que pueden “remover” alrededor del 50% del retraso ionosférico en latitudes medias. Este modelo es empírico tiene limitaciones tanto por el número de parámetros utilizados como también porqué los mismos se actualizan sólo una vez al día. En este caso cabe hacer referencia a la alta variabilidad que puede tener la ionosfera durante el día y sobre todo frente a días y horarios de alta actividad solar. [Klobuchar, 1987]

Una segunda técnica para disminuir el efecto de la ionosfera, consiste en la determinación del retardo cenital mediante equipos doble frecuencia, y se introduce en un modelo polinómico que describe la ionosfera local y las correcciones a las observaciones de receptores monofrecuencia. Con un receptor ubicado en el centro del área de observación y con coordenadas conocidas, este método funciona bastante bien, sobre todo bajo condiciones de ionosfera homogéneas y de actividad moderada.

No funciona bien en zonas con altas variaciones de ionosfera y/o alto contenido de electrones. [Orús, 2002]

Otra forma y a escala global y/o regional, es aplicar modelos ionosféricos derivados de datos del servicio IGS. Para el hemisferio norte, bajo condiciones normales, las soluciones funcionan bastante bien. En el hemisferio sur, dada la baja densidad de estaciones IGS, en relación a la cantidad y distribución de estaciones IGS en el hemisferio norte, los modelos no responden con la misma resolución. En la Fig. 6.13 se puede observar la distribución de estaciones IGS.



GM 2012 Apr 15 16:48:23

Fig. 6.11 Distribución de estaciones IGS

### 6.8.1 Aplicación de modelo ionosférico

Bernese es un software que permite aplicar modelos ionosféricos, globales y/o locales. Por lo dicho, se realizaron las tareas correspondientes para que en el PAB (Procesamiento Automático Bernese) se pudiera aplicar el modelo ionosférico conocido como CODE (Center for Orbit Determination in Europe). CODE, es uno de los principales Centros de Análisis del IGS, que está conformado por un consorcio integrado por el Instituto de Astronomía de la Universidad de Berna (AIUB), la Oficina Federal Suiza de Topografía (Swisstopo) y la Oficina Federal Alemana de Cartografía y Geodesia (BKG). Este modelo ionosférico global es generado por la Universidad de Berna, a partir de observaciones de la red global del IGS.

Una vez adaptadas las rutinas para incluir el modelo CODE (MAUPRP y GPSEST), se realizaron los procesamientos de aquellas observaciones de 2 horas para todas las estaciones y para los tres días seleccionados, tanto en horas de baja como de alta

actividad ionosférica. Posteriormente se calcularon las diferencias de coordenadas entre las obtenidas y las de referencia, las cuales se promediaron para los tres días (ver Anexo N° 5).

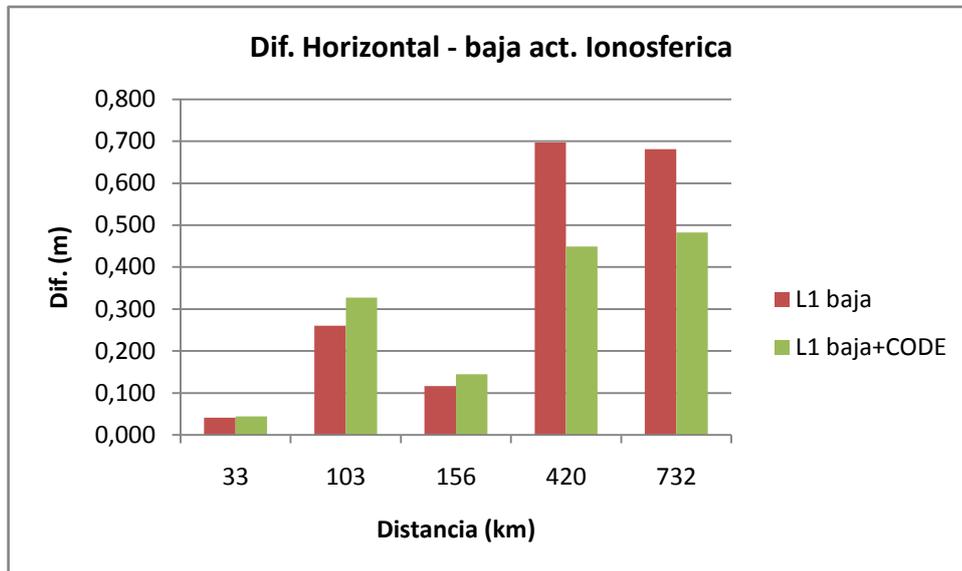


Fig. 6.12 Diferencia horizontal promedio, utilizando o no el modelo ionosférico de CODE, para horas de baja actividad ionosférica

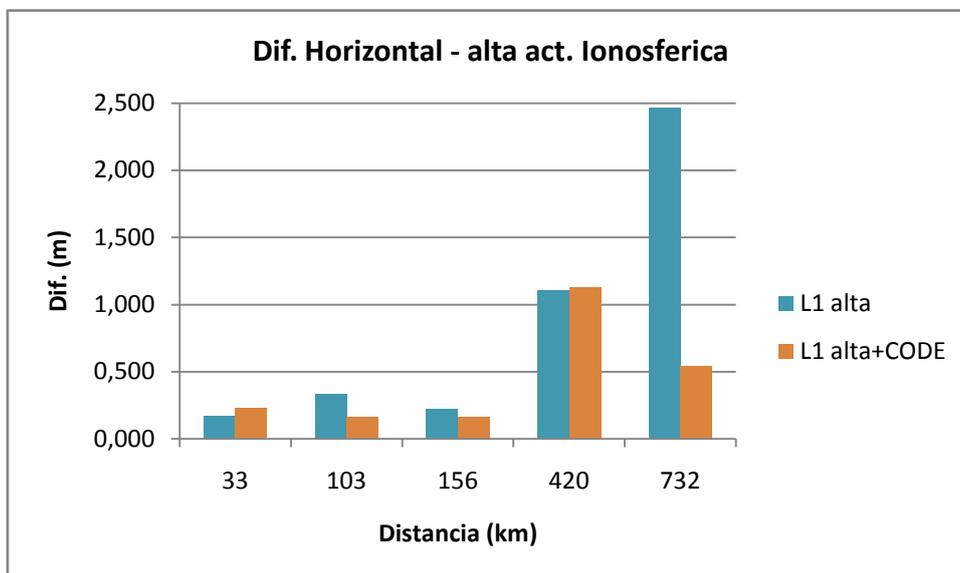


Fig. 6.13 Diferencia horizontal promedio, utilizando o no el modelo ionosférico de CODE, para horas de alta actividad ionosférica

Al observar las Figs. 6.12 y 6.13 se nota que la aplicación del modelo CODE, en horas de baja actividad ionosférica, para distancias menores a los 160 km, no disminuyen las diferencias. La influencia del modelo se hace sentir, en distancias mayores.

En horas de alta actividad ionosférica, se puede notar que las diferencias son menores al aplicar el modelo CODE. En el caso de distancias del orden de trabajo de receptores monofrecuencia (~30 km), la aplicación del modelo CODE no influye ventajosamente, minimizando las diferencias.

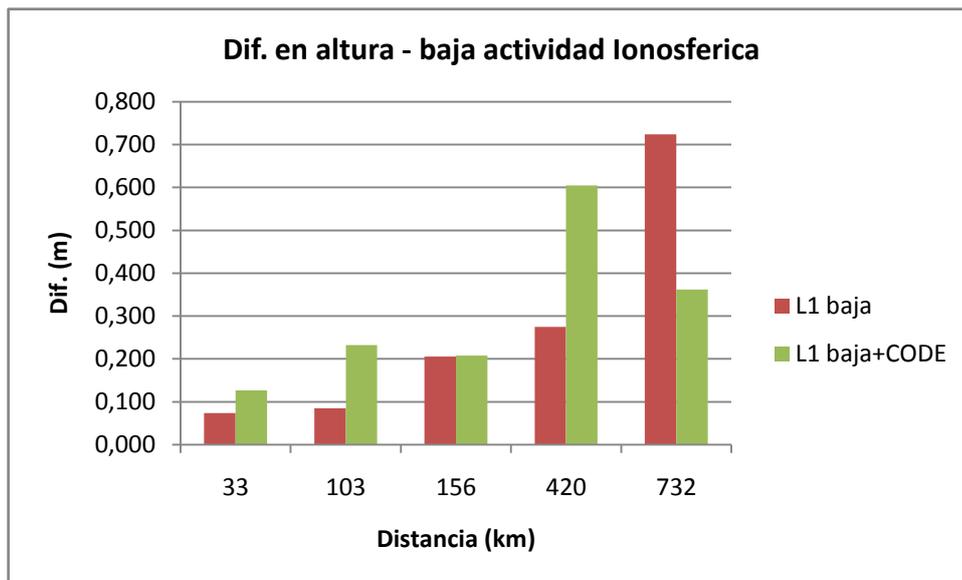


Fig. 6.14 Diferencia en altura con y sin modelo ionosférico para horas de baja actividad ionosférica

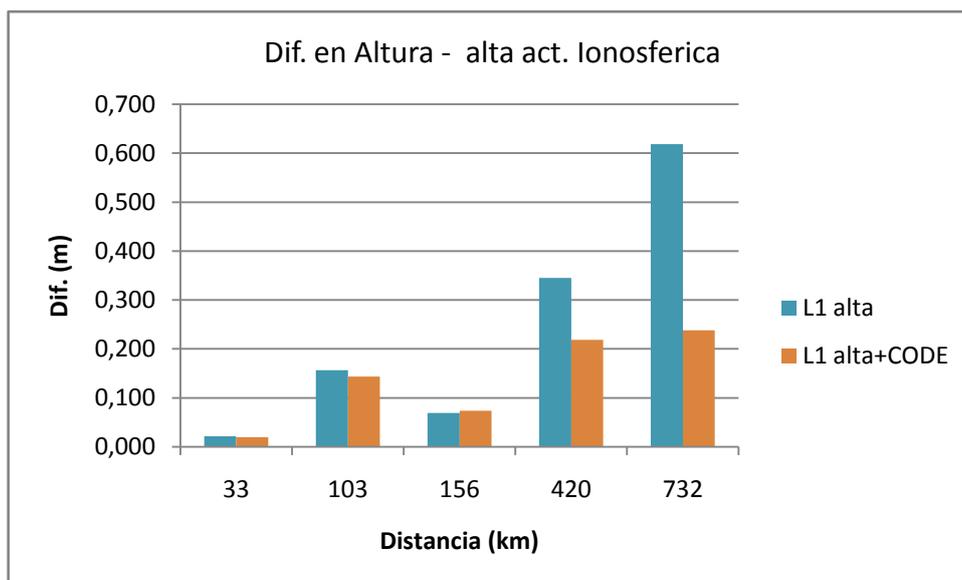


Fig. 6.15 Diferencia en altura con y sin modelo ionosférico para horas de alta actividad ionosférica

En las Figs. 6.14 y 6.15 se observan las diferencias correspondientes en altura aplicando el modelo CODE, para horas de baja y alta actividad ionosférica. Se puede afirmar que en horas de poca actividad, el modelo CODE, no disminuye las diferencias. En cambio para horas de mayor actividad ionosférica, el modelo CODE, permite mejorar los resultados aún en las distancias indicadas para trabajar con receptores monofrecuencias.

## 6.9 Conclusiones

El desarrollo de PAB cumple las validaciones descritas en el punto 6.2, en cuanto a que PAB arroja resultados numéricos iguales a los correspondientes al procesar con Bernese 5.0 en modo manual y utilizando BPE, pero con la ventaja que ofrece una modalidad totalmente desatendida por el usuario.

Las precisiones de los resultados del procesamiento con el PAB, para observaciones de simple y doble frecuencia, están por encima de lo especificado por los fabricantes de receptores GPS. También cumplen con las precisiones requeridas para trabajos de Agrimensura, como georeferenciación de parcelas, relevamientos para mapeo, etc. por lo cual podemos afirmar que esto permitiría a los Catastros provinciales utilizar como referencia este trabajo para tareas como las mencionadas.

En la siguiente tabla se muestran las precisiones requeridas para distintos tipos de trabajo

	Categoría	Precisión relativa requerida,	Precisión correspondiente (en m) en función de la distancia
A	Exploración geofísica, georreferenciación de baja precisión, GIS	$1 \times 10^{-4}$	1 a 50 m
B	Relevamientos topográficos para mapeo, ingeniería de pequeña escala, sistemas de control de vehículos	$1 \times 10^{-5}$	0,20 ... 1
C	Relevamientos catastrales, relevamientos de ingeniería de media precisión	$5 \dots 1 \times 10^{-6}$	0,01 ... 0,20
D	Geodesia, relevamientos de control, relevamientos de ingeniería de alta precisión	$5 \times 10^{-7} \dots 1 \times 10^{-6}$	<0,01 ... 0,005
E	Geodinámicas, relevamientos de ingeniería de altísima precisión	$1 \times 10^{-7}$	0,01 ... 0,02

Tabla 6.11 Precisiones según el tipo de relevamientos

De la tabla 6.11 surge que las precisiones obtenidas con el PAB, cumplen con lo requerido para los trabajos correspondientes a las categorías A, B y C. Esto es una amplia gama de actividades, y una mayor cantidad de usuarios, que no necesitan capacitación en la preparación de los datos como en la configuración de un programa de procesamientos de observaciones GPS, contando con la ventaja que los mismos han sido realizados sobre la base de un desarrollo que utiliza un software científico.

En esta tesis se ha aplicado el modelo ionosférico de cobertura global provenientes del CODE

([http://cmslive3.unibe.ch/unibe/philnat/aiub/content/e15/e59/e440/e447/e458/index\\_eng.html](http://cmslive3.unibe.ch/unibe/philnat/aiub/content/e15/e59/e440/e447/e458/index_eng.html)) que no utiliza demasiadas estaciones en la región de Latinoamérica (ver mapa en: <http://igscb.jpl.nasa.gov/network/complete.html>) pero que tiene una implementación directa en el programa BERNESE. A futuro se podría pensar en implementar otro modelo como el modelo ionosférico de La Plata, LPIM, (Brunini, 2008) que integra más estaciones de nuestra región (ver mapa en: <http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/>). [Brunini et al,2008].

De su aplicación en la parte correspondiente del PAB, se puede concluir que se nota una mejora en los resultados, en el procesamiento de observaciones con solo una fase (L1), en horas de alta actividad ionosférica. No se da la mejora con el modelo utilizado, en las horas de baja actividad ionosférica.

Se debe hacer notar que el modelo CODE aplicado, depende de las observaciones de estaciones IGS en la zona de observación. De aquí surge que es necesario contar con la mayor cantidad de EP GPS en la Argentina que se incorporen al IGS.

También nuestra región está en condiciones de poder generar modelos ionosféricos compatibles con Bernese, de tal forma de aprovechar las observaciones de las EP GPS existentes.

Tanto para el modelo CODE, como para el correspondiente generado por la región, necesitan de un desarrollo de la infraestructura de las EP GPS tanto en cantidad, calidad como en una buena distribución de la misma en nuestra región. De esta forma, los modelos ionosféricos reflejarían más fielmente el comportamiento de la ionosfera y esa mejora se notaría directamente en la mejora de procesamiento de observaciones L1 al incluir en el PAB esos modelos.

# **CONCLUSIONES**

### **7.1 Introducción**

En los capítulos anteriores se han explicado los principios y técnicas de posicionamiento que utilizan la tecnología basada en GNSS. También se han contemplado las componentes del sistema GPS, su evolución, nuevas técnicas de posicionamiento (PPP y NTRIP) y también la composición de SBAS.

Posteriormente, se explicó las características de un software científico y en especial se profundizó en Bernese.

En el capítulo I, se presentó la evolución de la Geodesia en Argentina y los sistemas de posicionamiento global. Se recordaron las formas de posicionamiento utilizadas hasta finales de los años 80 (triangulación, trilateración, poligonación), las desventajas que las mismas presentaban, y los sistemas de referencia utilizados hasta esa época. Se presentó como la aparición de las técnicas geodésicas satelitales influyó para superar problemas que se planteaban al momento de realizar mediciones, ofreciendo otras alternativas menos costosas, más rápidas y precisas para realizar la georreferenciación con la gran ventaja de brindar una vinculación al sistema de referencia global

También se hizo referencia al impacto que estas técnicas modernas han tenido en el ámbito profesional de la agrimensura, el catastro, la cartografía y en gran parte de las labores de la Ingeniería que requieren el conocimiento ya sea por relevamiento o replanteo de las coordenadas.

Por otra parte es importante remarcar que el sistema GPS obligó a instituciones y personas que realizaban labores geodésicas en nuestro país como también a aquellos que usaban productos de la actividad geodésica a involucrarse en una fuerte capacitación tanto para la utilización eficiente de la técnica como en el desarrollo área teóricas y de aplicaciones, en el montaje de infraestructura, de nuevos servicios, etc. Un fiel reflejo de desarrollo en infraestructura y servicios son las EP GPS. Los adelantos en alguna de las áreas mencionadas potenciaron de forma positiva el desarrollo en las otras generando a la vez nuevos planteos, necesidades y soluciones.

Como consecuencia de la mayor cantidad de personas que hacen uso de las técnicas de posicionamiento satelital, y aprovechando las mejoras en las EP GPS, surge la necesidad de contar con desarrollos de software que permitan el procesamiento de observaciones realizadas en cualquier lugar, por cualquier operador, recurriendo a un

servicio de procesamientos de observaciones GPS. Este servicio de procesamiento surge como una demanda de los usuarios no expertos.

El mismo requiere además, que cumpla todas las condiciones que tiene cualquier software comercial la disponibilidad de realizar el procesamiento de observaciones GNSS en forma completamente desatendida haciendo uso de la mejor configuración de acuerdo al tipo de observación. También demanda estar siempre actualizado en cuanto a los distintos modelos físicos y matemáticos utilizados en el procesamiento. En esta condición de desarrollo se enmarca el trabajo realizado en esta tesis.

En el capítulo II se expusieron, los principios que sustentan todo lo referente al sistema de posicionamiento GPS y, los observables GPS (señal y tiempo GPS). También se presentaron los fundamentos de la medición, los errores en las observaciones y las combinaciones lineales de observables para disminuir y/o eliminar los errores que afectan a la medición. En cuanto a los segmentos que integran el sistema GPS, es importante resaltar que esta tesis se realizó sobre un aspecto fundamental, dentro del Segmento Usuario, el desarrollo de un programa, el PAB, que permita el procesamiento de las observaciones GPS de receptores simple y doble frecuencia.

En el capítulo III se presentaron las diferentes técnicas de posicionamiento, haciendo especial hincapié en el posicionamiento diferencial con postproceso y la utilización de las EP GPS, surgidas a partir del esfuerzo de las instituciones responsables de la materialización y mantenimiento del marco de referencia. Las estaciones permanentes han resultado un pilar muy importante de infraestructura que dio lugar al posterior desarrollo de técnicas de posicionamiento diferencial más precisas y por sobre todo más efectivas, como las técnicas de posicionamiento a tiempo real.

Las redes de EP GPS superaron los objetivos científicos iniciales, dando lugar a desarrollos locales y regionales en el ámbito de la georreferenciación, el posicionamiento y la navegación. Es ejemplo de esto en nuestra región, la Red Sirgas SIRGAS-CON. La misma ha ido fortaleciéndose con la participación de una mayor cantidad de países que ponen a disposición de todos, las observaciones correspondientes a las EP GPS. Este desarrollo de la Red, ha sido acompañado por la aparición de Centros de Procesamientos, quienes realizan semanalmente el cálculo semanal y el ajuste de la red.

Nuestro país también ha ido acompañando este proceso, y en el transcurso de los últimos años, han surgido nuevas EP GPS. La distribución y la densidad de las EP GPS, tal cual se explicó en el capítulo VI, no es uniforme, existiendo regiones que necesitan de mayor densificación de EP GPS. De esta forma se reducirían las distancias entre la "base" (EP GPS) y el lugar de medición y cuyo datos observacionales puedan ser utilizados por el PAB, en su procesamiento.

En el desarrollo de esta tesis se consideró como una parte importante, la posibilidad de utilizar los archivos de observación de las EP GPS como "base" para un

procesamiento diferencial con observaciones de mediciones tanto de mediciones de simple como de doble frecuencia realizadas por usuarios en cualquier lugar dentro de la región SIRGAS. De esta forma se aprovecha la infraestructura de la red de EP GPS de la región, tanto por la más alta calidad de las observaciones diarias que ofrece de manera ininterrumpida como por la excelente calidad y actualidad de sus coordenadas.

Tal cual se explicó en el capítulo IV, Bernese es un programa de procesamiento de observaciones GNSS y ajuste de redes geodésicas. Una de las ventajas que tiene este programa es considerar la gestión global del procesamiento y ajuste como una secuencia de diferentes rutinas.

Estas características han favorecido su utilización para el diseño y ejecución del PAB, aprovechando así toda la potencia de Bernese, pudiendo configurar cada módulo a “medida” de las necesidades de los usuarios.

El PAB es un servicio de procesamiento diferencial que se vale de las estaciones GNSS de medición continua. Las EP GNSS requieren sus coordenadas con la mayor precisión posible. Este requerimiento es cubierto tanto por SIRGAS en Latinoamérica, como por los centros de procesamiento argentinos quienes realizan el monitoreo constante de las coordenadas y su consiguiente actualización. Además en el diseño y desarrollo del PAB se consideró que este servicio pudiera ser utilizado no sólo por argentinos sino también por todos aquellos que haya realizado sus mediciones dentro de la región comprendida por la red SIRGAS-CON.

El siguiente desarrollo demandado por la comunidad de usuarios GNSS, tanto en nuestro país como en la región, es la posibilidad de brindar un servicio de procesamiento de observaciones GPS. A este requerimiento se ha dado respuesta a partir de esta tesis.

Como ejemplo de servicios de este tipo son los ofrecidos por JPL de los EEUU, Aus Pos de Australia y CRSC de Canadá. Los dos primeros “sólo” realizan procesamiento diferencial de observaciones de receptores doble frecuencia. El correspondiente a Canadá utiliza la técnica PPP (Posicionamiento Puntual Preciso), que aunque admite observaciones de receptores de simple y doble frecuencia, no es un procesamiento diferencial. En el caso de archivos de simple frecuencia permite mejorar los resultados de un posicionamiento absoluto utilizando para ello orbitas y archivos de reloj precisos.

Por lo expuesto hay un sector al cual el desarrollo del PAB da respuesta, que es el correspondiente al procesamiento diferencial no sólo de observaciones de doble frecuencia sino que además admite también los correspondientes a simple frecuencia. El servicio que brinda el PAB no existe a nivel nacional ni regional. De esta forma, ha sido contemplada en esta tesis, el requerimiento de los usuarios de nuestro país y de la región.

## **7.2 Sinergia del PAB con otros servicios en la región**

En el capítulo III se explicaron las condiciones que debían cumplir las EP GNSS, y cómo con el tiempo éstas fueron densificándose, dando lugar a que cada país contara con su propia red de EP GNSS. En nuestro país, está reflejado en la red RAMSAC, a cargo del IGN.

También se comentó que existe una entidad como SIRGAS, que ha movilizó a científicos y profesionales del área de la Geodesia y la Geofísica en el desarrollo de redes geodésicas horizontales y verticales en la región de Latinoamérica. La principal realización de SIRGAS es la red SIRGAS-CON, en la que participan EP GNSS de todo el continente y permiten tener observaciones GNSS diarias. Inicialmente estas fueron procesadas por el instituto alemán DGFI. El mismo incentivó a los países miembros de SIRGAS a formar equipos propios para el procesamiento y ajuste de la red continental, apareciendo de este modo los Centros de Cálculo, dando lugar a los centros de procesamiento como el IGN (BS AS) y CIMA (UNCuyo, Mendoza) en nuestro país, IBGE (Brasil), INEGI (México), etc. dentro del marco continental de la red SIRGAS-CON. Cabe mencionar que estos centros de procesamiento se limitan a realizar el cálculo diario y en combinación semanal de las observaciones GPS de las aproximadamente 200 estaciones que componen la red SIRGAS-CON. Ofreciendo como producto las coordenadas actualizadas y precisas a niveles milimétricos

Una forma de aprovechar los avances dados en la instalación de más EP GNSS como el correspondiente a los centros de cálculo, es ofreciendo a la comunidad de usuarios de la región, un servicio de procesamiento diferencial de observaciones GNSS como el PAB. Tal como se dijo, en el punto 7.1, “no” existe un servicio de estas características, a nivel mundial ni regional que abarque tanto a observaciones de receptores doble frecuencia como las provenientes de receptores de simple frecuencia.

En el desarrollo del PAB se tuvo en cuenta este aspecto de tal forma de poder concretar un servicio de procesamiento que dé respuesta a la necesidad que tienen los usuarios de receptores no sólo de doble frecuencia sino también al gran número de usuarios que diseñan, miden y realizan los procesamientos a partir de observaciones de receptores simple frecuencia.

Se debe resaltar que este desarrollo al utilizar las observaciones de EP GPS más próximas, potencia aún más su uso. Esto alienta a los responsables de las redes nacionales a mantener diariamente la disponibilidad de los datos como así mismo seguir mejorando y aumentando los servicios que cada una de ellas puede brindar. De esta forma se acentuarían las líneas de acción propuestas en los Talleres Nacionales de EP GPS que se desarrollaron en nuestro país y en el resto de los países de la zona de SIRGAS-CON.

### **7.3 La Georeferenciación en el marco de los Catastros Territoriales y la aplicación del PAB**

En Argentina, el Catastro, sea provincial y/o municipal, es una de las reparticiones que se ha visto impactada de manera directa con la utilización de la tecnología GPS y los GIS. A partir del acceso masivo a esta tecnología se volvió cada vez más usual la georeferenciación en las actividades catastrales y en particular en actos de levantamiento parcelario, como las rurales, se hizo obligatoria.

Con esta tecnología ha sido posible mejorar todo lo referente a los sistemas de referencia utilizados por los Catastros, actualizar su propia cartografía, ser georeferenciar la obra pública, sólo por nombrar alguna de las áreas de impacto. También ayuda en la implementación de lo establecido en la Ley Nacional 26209, Ley Nacional de Catastro, en cuanto que *“los Catastros provinciales deben georeferenciar tanto las parcelas como los objetos territoriales”*.

En el día a día de la actividad catastral, este ente estatal se “alimenta”, a fin de mantener actualizado sus registros, tanto de los relevamientos propios como de aquellos generados por los profesionales de la Agrimensura y la Ingeniería. La posibilidad de contar con el servicio del PAB, cuyos resultados, coordenadas, estén en el marco de referencia oficial argentino, a la fecha POSGAR 2007, y además que permita un ahorro de tareas internas, como el hecho de tener, que realizar, como contralor, el procesamiento de las observaciones realizadas por los profesionales, es un gran aporte también para las repartición.

El PAB ha sido pensado y desarrollado para utilizar las coordenadas de EP GPS más próximas al lugar de observación, en el caso de nuestro país, las mismas están en el sistema POSGAR 2007, por lo cual el resultado de este procesamiento asegura su vinculación al marco de referencia oficial vigente.

En términos generales, las coordenadas de todas las EP GPS, son el resultado del ajuste realizado por los centros de cálculo. Esta característica permite contar en todo momento con coordenadas confiables, precisas y actualizadas aún para situaciones extremas como lo fue el terremoto de Chile del año 2010, y cuyos respectivos desplazamientos fueron también estimados por los Centros de Cálculo.

Un usuario de la tecnología GPS encuentra en PAB un servicio de procesamiento automático que usando un excelente software científico tiene en cuenta una óptima configuración. Asegura además la actualización de los datos necesarios a incorporar para el procesamiento a fin de obtener coordenadas con muy buena precisión.

De esta forma también el desarrollo de esta tesis, está en condiciones de dar respuesta a algunas de las cuestiones planteadas en la Mesa Taller denominada “COORDENADAS JURÍDICAS” en el marco del XI Congreso Nacional y VIII de Latinoamericano de Agrimensura desarrollado en mayo de 2012. Entre ellas: la importancia de definir el tiempo de validez de los marcos de referencia, la conveniencia de utilizar también la variable “tiempo” en forma conjunta con las

coordenadas, para establecer y asegurar la posición de un punto con precisión respecto de un marco de referencia seleccionado.

Estos parámetros (coordenadas y época de referencia) cambian en el tiempo para mantener el marco de referencia actualizado. El PAB asegurará un servicio de procesamiento a los usuarios, sean estos del sector académico, estatal, empresarial y/o privados, brindando las coordenadas en el mejor y más actualizado marco de referencia disponible, con sólo adecuar algunas de las rutinas desarrolladas. Cabe mencionar que en las instancias de postprocesamiento tradicionales individuales estos aspectos no siempre son tenidos en cuenta por la generalidad de los usuarios.

En nuestro país, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) adoptó como sistema de referencia a POSGAR 2007, a través de la Disposición 20 de fecha 15 de mayo de 2009. Con esta disposición las provincias argentinas (Buenos Aires, San Juan, Santa Fe, Chaco, Entre Ríos, Neuquén, Tierra del Fuego, Santa Cruz, por citar alguna de ellas) han adoptado como oficial, este nuevo sistema de referencia evitando el inconveniente suscitado en el intercambio de datos geográficos entre distintas jurisdicciones. Con el desarrollo del PAB, que utiliza los datos de EP GPS, y con ello las coordenadas de las mismas, se favorece aún más el cambio de sistema de referencia anterior a POSGAR 2007, utilizado en cada provincia, a POSGAR 2007, al poder ofrecer sus resultados en dicho sistema.

Con el PAB se está en condiciones de ofrecer un servicio de posicionamiento preciso y de georreferenciación en todo el territorio argentino a través de un sistema de procesamiento confiable tanto para los entes públicos como para los usuarios del sector privado.

#### **7.4 Influencia de las correcciones ionosféricas y la aplicación del PAB sobre observaciones monofrecuencia**

De la aplicación de modelos ionosféricos en el procesamiento mediante PAB, de observaciones GPS de receptores monofrecuencia (capítulo VI punto 6.8.1) se obtuvieron significativos resultados.

El modelo ionosférico CODE utilizado en el PAB es un modelo global que utiliza datos de estaciones permanentes de la red IGS. Al aplicar dicho modelo en el procesamiento con PAB de observaciones realizadas en Argentina, no llega a corregir el efecto ionosférico con la misma precisión que lo hace en el hemisferio norte. Aún así, al aplicar en el PAB este modelo global en horas de alta actividad ionosférica, se obtienen mejores resultados en el procesamiento de observaciones de L1 solamente (receptores monofrecuencia). Para llegar a los niveles de corrección que tienen en el hemisferio norte es necesario lograr una mayor densificación de las EP GPS, no sólo en nuestro país, sino también en toda la región latinoamericana. De esta manera se podrá contar con una mayor cantidad de puntos de monitoreo atmosférico que permitan desarrollar nuevos modelos ionosféricos u optimizar los existentes, para su posterior aplicación en los módulos correspondientes de Bernese, y en forma más particular al

PAB. De esta forma, los modelos responderán mucho mejor a las variaciones ionosféricas en la región de aplicación.

Por otra parte, SIRGAS ha promovido la instalación de centros de análisis de la ionosfera aprovechando la infraestructura de la red SIRGAS-CON, uno de los cuales es el Centro de Análisis Ionosférico de SIRGAS que funciona en la Universidad Nacional de La Plata. En el mismo se producen mapas del contenido vertical total de electrones (vTEC) y está previsto que también se generen modelos adecuados para ser utilizados en software como Bernese. En el diseño del PAB, es posible utilizar los modelos ionosféricos generados no sólo por el IGS sino también por SIRGAS a través de tales centros de cálculo.

### **7.5 Trabajos a futuro**

El criterio utilizado en el desarrollo del PAB contempla el procesamiento de las observaciones enviadas por el usuario con los datos de una EP GPS, la más cercana al sitio de observación, teniendo en cuenta la red de EP GPS operativa en nuestro país. Es posible continuar desarrollando el PAB de tal forma que en vez de procesar con una estación, lo realice con dos o más en la medida que la distribución de EP GPS fuera mejor, asegurando distancias máximas a las bases de tal manera que ellas estén en un radio menor a 200 km, respecto a la zona de observación. Con esto se podrían mejorar las precisiones en las coordenadas obtenidas mediante la combinación y ajuste de dos o más vectores, beneficiando no sólo a aquellos que tienen receptores geodésicos sino a los que poseen receptores topográficos, tal cual los resultados mostrados en [Alvis Rojas, et al, 2009].

El sector de las aplicaciones con técnicas GPS en movimiento (Stop and Go y Cinemático), que son aquellas que ofrecen una mayor productividad en cuanto al tiempo de medición y a la cantidad de elementos a relevar, requieren de la generación de archivos RINEX con una menor intervalo de bajada de datos. Es posible seguir desarrollando el PAB para dar respuesta a este tipo de mediciones, aprovechando las ventajas de un software tan potente como Bernese. En su desarrollo se debe tener en cuenta las características de este tipo de mediciones. Además requiere del trabajo conjunto con los administradores de las EP GPS a fin de que las mismas generen archivos RINEX cuya duración sean de 1 o 2 horas, adecuando la configuración de los intervalos de descarga de datos, acorde al tipo de observaciones de este tipo. Esto también implica la necesaria mejora en la infraestructura de las EP GPS, tanto en la conectividad al servidor de datos, como en las diferentes formas de transmisión de los mismos (internet, telefonía, etc.). Esta mejora no sólo impactaría de forma directa en el desarrollo del PAB, sino que además fortalecería el uso de la tecnología RTK NTRIP explicada en el capítulo III.

En esta tesis se ha desarrollado el PAB utilizando las efemérides transmitidas. Una línea de avance en la performance del PAB es contemplar para su ejecución, los datos de efemérides precisas en la medida que los tiempos en que son generadas se

reduzcan. Esto podrá mejorar aún más las precisiones de las soluciones generadas por el PAB.

Con el fortalecimiento de los sistemas de posicionamiento satelital tales como GLONASS, y Galileo, han aparecido en el mercado receptores que tienen la capacidad de detectar, recibir y almacenar información de dos o más sistemas a la par. Esto posibilita contar con una mayor cantidad de datos para procesar y con eso también mejorar las precisiones de las observaciones. En Argentina los receptores ofrecidos son aquellos que pueden recibir y almacenar observaciones de la constelación de satélites GPS y GPS+GLONASS. La versión 5.0 de Bernese utilizada en esta tesis para el desarrollo y aplicación del PAB, está preparada para procesar observaciones no sólo GPS sino también GLONASS, incluso también la combinación de ambos sistemas, GPS y GLONASS. En la versión 5.2 de Bernese ya se incluye la capacidad para procesar también observaciones GALILEO.

Por lo expuesto, y apoyándose en los criterios del PAB, es posible desarrollar nuevas versiones del mismo que consideren no sólo observaciones GPS, sino también la combinación tanto de GLONASS como de GALILEO. De esta forma, y aprovechando la capacidad de un software como Bernese, se podrían alcanzar mejores prestaciones en cuanto a la precisión, al tipo de relevamientos y a un mayor número de usuarios.

El grupo GESA, perteneciente a la Universidad Nacional de La Plata ha desarrollado el modelo ionosférico denominado LPIM (La Plata Ionospheric Model), utilizando los datos de las EP GPS que integran la red SIRGAS-CON. Este modelo describe el comportamiento de la ionosfera en la región SIRGAS mejor que el correspondiente al modelo CODE, desarrollado por la Universidad de Berna, por cuánto en este último modelo sólo utiliza datos de EP GPS que son parte del IGS. En el punto 6.8 del capítulo anterior, se hizo referencia a las pruebas, y los resultados correspondientes, que se hicieron al aplicar el modelo CODE en el PAB. El modelo CODE por lo menos en nuestro país presenta “huecos de información” tanto porque no todas las EP GPS del país son consideradas en el mismo como por la falta de EP GPS en sectores amplios de la región. Lo dicho representa un fundamento para seguir desarrollando el PAB teniendo en cuenta el modelo LPIM adecuando su formato al correspondiente a Bernese, dado que este software permite aplicar modelos ionosféricos distintos al de CODE. Así se podría mitigar aún más el efecto de la ionosfera sobre las mediciones GPS provenientes de receptores monofrecuencia.

La densidad de EP GPS, en algunas zonas del país, y su correspondiente área de cobertura no son las óptimas para ofrecer un servicio confiable y seguro a los usuarios de la tecnología GPS. Tanto en la distribución como densidad de EP GPS, como la accesibilidad a sus datos necesitan mejorarse. En estas condiciones, los usuarios siguen utilizando estaciones pasivas cuyo costo de mantenimiento es alto y además no siempre están en el sistema de referencia oficial argentino. Por ello, y a fin de servir a una mayor cantidad de usuarios y producir mejores resultados es necesario realizar mayores esfuerzos tanto en una mejor distribución territorial de las EP GNSS, como

también en un permanente perfeccionamiento de los servicios que puedan brindar tanto las EP GNSS, como los centros de cálculo y las entidades académicas y estatales (Catastros, Desarrollo y Planeamiento Urbano y regional, etc.), en relación a un mejor aprovechamiento de la potencia de los sistemas satelitales.

Este trabajo permite continuar el modelo de desarrollo de todo lo referente a tecnología satelital. El siguiente paso a dar es el desarrollo del sistema SBAS en nuestro país y/o región.

## **7.6 Conclusiones**

Desde la aparición de las técnicas satelitales, las formas de trabajo han ido cambiando, de tal forma que el impacto de estas en muchas áreas ha generado mejores resultados y un constante estudio para poder aprovechar la potencia de esta técnica. La evolución de la misma también genera algunos inconvenientes asociados al procesamiento de los datos. Surge la necesidad de capacitación profesional tanto para comprender y usar de forma adecuada las técnicas satelitales como para el uso de programas específicos, con las configuraciones adecuadas y las correspondientes actualizaciones. También surgen los requerimientos de licencias pagas tanto para la compra de software como para sus correspondientes actualizaciones.

Con el desarrollo del PAB, los usuarios de GPS, podrán tendrán un servicio que facilitará su tarea al contar con una herramienta que les brinden resultados de procesamientos con un software científico, que en su configuración se tienen en cuenta las mejores condiciones del acuerdo al tipo de observación (simple y/o doble frecuencia). En este desarrollo ha sido contemplados aspectos que permitan obtener no sólo resultados óptimos en cuánto a precisión sino también el tiempo de procesamiento y envío de resultados a los usuarios. Además este servicio se ofrece a todos los usuarios de receptores GPS, tanto de simple como de doble frecuencia.

El PAB es otra alternativa, respecto a las correspondientes de software comercial para los usuarios de técnicas de medición satelital, en cuanto al procesamiento de observaciones satelitales. Una ventaja que brinda el PAB, es la posibilidad que tiene un usuario al ahorrar en la compra y/o actualización de software comercial de procesamiento de observaciones GPS. Así mismo, con el PAB, un usuario sin mucha experiencia, no tendrá necesidad de una capacitación adecuada para configurar los programas y realizar procesamientos, en función del tipo de observación.

Un dato no menor, en cuanto a las ventajas que ofrece el PAB a los usuarios, es la búsqueda de archivos de EP GPS, archivos de efemérides, de modelos de geoide, etc. , que esté desarrollo realiza de manera automática, de tal forma que en todo momento, los usuarios podrán contar con resultados de procesamiento que han utilizado datos actualizados.

En la medida que el PAB sea un servicio público, será posible que, los entes estatales, nacionales, provinciales y/o municipales cuenten con una herramienta que les permita reelaborar disposiciones y/o reglamentos, en lo referido a sistemas de

referencia, medición con técnicas satelitales, tiempos mínimos de observación, al realizar vinculaciones exigidas en distintos tipos de labores, cartografía catastral, sistemas de información geográficos, estudios y proyectos de obras, etc. También permitirá ahorrar en recursos humanos y materiales utilizados para el procesamiento de control de los datos de observación realizados y entregados por los profesionales. Con estos ahorros se podría invertir para la instalación y mantenimiento de nuevas EP GPS.

Tal cual se dijo anteriormente, el desarrollo en alguno de los segmentos GPS influye en forma positiva en los restantes, generando mejoras. En el caso particular del desarrollo de software para procesamiento, el PAB al utilizar los datos de EP GPS y valiéndose de la calidad de un software tan potente como Bernese, para seguir con esta línea de trabajo, requerirá de profesionales capacitados de centros de investigación nacionales y/o regionales que aprovechen aún más las mejoras que van surgiendo en cualquiera de los segmentos del sistema GNSS y de esta manera mejorar y ampliar los servicios que utilizan esta tecnología.

En el capítulo IV se mostraron las características del programa científico Bernese que es a su vez uno de los programas más completos para el procesamiento de observaciones GNSS y que puede ser ejecutado de forma desatendida. Estas tesis desarrollo las rutinas necesarias para poder seleccionar de manera óptima las opciones que requieren cada rutina de ejecución en función de los observables con los que se cuenta, la longitud temporal de la observación y la distancia y ubicación entre el receptor base y el remoto. Con el desarrollo del PAB se comprobó que es posible alcanzar el mismo orden de precisión que con cualquier software comercial, pero de un modo desatendido, sin necesidad de la intervención del usuario, en la configuración del programa, búsqueda de archivos, actualización de parámetros, etc.

El desarrollo de este PAB, ha permitido contar con el primer sistema de procesamiento de observaciones, tanto en la Argentina como en Sudamérica, que utilizando datos de las EP GNSS regionales (SIRGAS-CON) óptimamente seleccionadas, procesará datos de fase tanto en L1 como en L1 y L2. Si bien existen en el mundo algunos sistemas similares, ninguno permite a la fecha de esta tesis, el procesamiento de observaciones de simple frecuencia, es decir provenientes de los receptores menos costosos y más usuales en países en vías de desarrollo, como es el caso de Argentina. Esto lo convierte en un desarrollo único y extremadamente útil para aplicaciones en Latinoamérica.

Los resultados de esta tesis se encuentran en el marco de esfuerzos conjuntos que se vienen haciendo en Argentina en el ámbito de la geodesia, tales como el mejoramiento de la infraestructura de estaciones GNSS de observación continua, fundamentalmente a través del proyecto RAMSAC; el procesamiento rutinario de la red de estaciones GNSS a través de los dos centros de procesamiento SIRGAS que se encuentran en Argentina así como el desarrollo de aplicaciones a tiempo real mediante NTRIP.

## ANEXO N° 1

```
##### 01.-decompression.pl
#####
# Objective: Validate RINEX compression and decompress the file      #
#####
###
use strict;
require 5.005;
##### Faltan todos los chequeos de los programas y las salidas de errores
sub decompression
{
    my $working_dir = $_[0];
    my $proc      = $_[1];
    my $unzip    = "7zG.exe";
    my $crx2rnrx = "d:\\Hernan\\programas\\crx2rnrx"; #
    my $rinex;
    opendir(WORKING_DIR, "$working_dir") || die "ERROR: Couldn't open the directory
$working_dir \n";
    while(defined(my$input_file = readdir(WORKING_DIR)))
    {
        next if ( $input_file =~ /^\.+/ );
# Search for compression type and decompress the file
        print "# Decompressing and validating the file... \n";
        if ($input_file =~ /[zZilpP]$/)
        {
            system (".\\programas\\$unzip e .\\proceso\\$proc\\$input_file");
            my $un_rinex = substr($input_file,0,12);
            move("$un_rinex",".\\proceso\\$proc\\$un_rinex");
            unlink("$working_dir$input_file");
        }
        elsif ($input_file =~ /\S{4}\d{3}\S.\d{2}o/)
        {
            $rinex = $input_file;
            return($rinex);
        }
        else
        {
            print("$input_file \n");
            die "Wrong file format\n";
        }
    }
}
closedir(WORKING_DIR);
# Checking that only one file was compress
opendir(WORKING_DIR, "$working_dir") || die "ERROR: Couldn't open the directory
$working_dir \n";
my @archives=sort(readdir(WORKING_DIR));
close(WORKING_DIR);
my $number_of_files =scalar @archives;
if ($number_of_files!=3)
```

```

    {
        die "The directory does not have a single file, must give a single file!";
    }
# Searching for hatanaka compression and decompressing the file
if ($archives[2] =~ /\S{4}\d{3}\S\.\d{2}d/)
{
    system("$crx2rnx -f $working_dir$archives[2] ");
    unlink("$working_dir$archives[2]");
    $rinex = substr($archives[2],0,11).'o';
}
elseif ($archives[2] =~ /\S{4}\d{3}\S\.\d{2}o/)
{
    $rinex = $archives[2];
}
else
{
    print("File don't respect rinex filename standars\n");
}
return($rinex);
}
1;

```

```

##### 02_rinex_validation.pl #####
# Objective: Validate RINEX structure #
#####
###
use strict;
sub rinex_validation
{
    my $working_dir = $_[0];
    my $rinex = $_[1];
    my $teqc = "d:\\Hernan\\programas\\teqc";
    my $new_rinex = "temp_rinex.o";
    system ("$teqc $working_dir$rinex > $working_dir$new_rinex");
    unlink("$working_dir$rinex");
##### Chequear ambos casos...
    if (-z "$working_dir$new_rinex" | !-e "$working_dir$new_rinex")
    {
        my $error = "File does not support RINEX format";
        return("$error");
    }
    move("$working_dir$new_rinex","$working_dir$rinex");
}
1;

```

```

##### 03_date_validation.pl
#####
# Objective: Retrieve the observation day and trim off GPS data #

```

```

#####
###
use strict;
sub date_validation
{
    my $working_dir = $_[0];
    my $rinex = $_[1];
    my $teqc = "d:\\Hernan\\programas\\teqc";
    my $error = '0';
    my $epoch;
    my $header_end = 'END OF HEADER';
    open(RINEX,"$working_dir$rinex") || die "$!\n";
    while( (defined($_=<RINEX>)) &&($epoch eq '' ) )
    {
        if ( $_ =~ /$header_end$/ )
        {
            $epoch = <RINEX>;
            my $year = substr($epoch,1,2);
            my $month = substr($epoch,4,2);
            my $day = substr($epoch,7,2);
            close(RINEX);
            if ($year > 84)
            {
                $year = $year + 1900
            }
            else
            {
                $year = $year + 2000
            }
            $month = sprintf("%02d",$month);
            $day = sprintf("%02d",$day);

            my $start = "$year$month$day".'000000';
            my $end = "$year$month$day".'235959';
            my $new_rinex = "temp_rinex.o";
            system("$teqc -start_window $start -endwindow $end $working_dir$rinex >
$working_dir$new_rinex");
            unlink("$working_dir$rinex");
            if (-z "$working_dir$new_rinex" | !-e "$working_dir$new_rinex")
            {
                $error = "File does not support RINEX format";
                return("$year,$month,$day,$error");
            }
            move("$working_dir$new_rinex","$working_dir$rinex");
            return($year,$month,$day,$error);
        }
    }
}
1;

```

##### 04\_type\_of\_observ.pl #####

```

# Objective: Extracts the type of observables in the RINEX file      #
#####
###
use strict;
sub type_of_observ
{
    my $working_dir = $_[0];
    my $rinex = $_[1];
    my $type_of_observ;
    my $Observ = 'NO';
    open(RINEX,"$working_dir$rinex") || die "$!\n";
##### Probar con rinex con menos observables pero que sigan la secuencia lógica....
    while( (defined($_=<RINEX>)) &&($Observ eq 'NO') )
    {
        if ( $_ =~ /(TYPES OF OBSERV)/)
        {
            $_ =~ s/(\\# \\ TYPES OF OBSERV)//;
            $_ =~ s/ //;
            my @Observ = sort(split(/ +/, $_));
            chomp(@Observ);
            $Observ = join(" ", @Observ);
        }
    }
    if ($Observ =~ /C1/ && $Observ =~ /L1/ && $Observ =~ /L2/ && $Observ =~ /P2/ )
    {
        $type_of_observ = 'C1L1L2P2';
    }
    elsif ($Observ =~ /C1/ && $Observ =~ /L1/ && $Observ =~ /L2/)
    {
        $type_of_observ = 'C1L1L2';
    }
    elsif ($Observ =~ /C1/ && $Observ =~ /L1/)
    {
        $type_of_observ = 'C1L1';
    }
    elsif ($Observ =~ /C1/)
    {
        $type_of_observ = 'C1';
    }
    return($type_of_observ);
}
1;

```

```

##### 05_get_efemerides.pl #####
# Objective: Obtain broadcast and precise ephemerides      #
#####
###
use strict;
use Net::FTP;
use Date::Calc qw(Delta_Days Today Day_of_Year Add_Delta_Days);
require ("d:\\Hernan\\subroutines\\pre_processing\\Date_to_GPS_Week.pl");

```

```

require ("d:\\Hernan\\subroutines\\pre_processing\\Date_to_Day_of_GPS_Week.pl");
sub get_ephemerides
{
    my $year      = $_[0];
    my $month     = $_[1];
    my $day       = $_[2];
    my $working_dir = $_[3];
#
    my $gunzip = "d:\\Hernan\\programas\\gzip -d";
    my $prefix;
    my $type;
    my $y2k = substr($year,2,2);
    my $doy = Day_of_Year($year,$month,$day);
    $doy = sprintf("%03d",$doy);
    my ($year_y,$month_y,$day_y) = Add_Delta_Days($year,$month,$day,-1);
    my ($year_t,$month_t,$day_t) = Add_Delta_Days($year,$month,$day,+1);
    my $gps_week = Date_to_GPS_Week($year,$month,$day);
    my $gps_day = Date_to_Day_of_GPS_Week($year,$month,$day);
    my $gps_week_y = Date_to_GPS_Week($year_y,$month_y,$day_y);
    my $gps_day_y = Date_to_Day_of_GPS_Week($year_y,$month_y,$day_y);
    my $gps_week_t = Date_to_GPS_Week($year_t,$month_t,$day_t);
    my $gps_day_t = Date_to_Day_of_GPS_Week($year_t,$month_t,$day_t);
#
    my ($year_today,$month_today,$day_today) = Today();
    my $Dd = Delta_Days($year,$month,$day,$year_today,$month_today,$day_today);
    if ($Dd > 15)
    {
        $prefix = 'igs';
        $type = 'precisas';
    }
    elsif ($Dd > 3)
    {
        $prefix = 'igr';
        $type = 'rapidas';
    }
    else
    {
## %%% Poner error correspondiente y ajustar fecha
        die;
    }
    my $brdc = 'auto'. $doy. '0.'. $y2k. 'n.Z';
    my $polo = 'igs'. $gps_week. '7.erp.Z';
    my $sp3 = $prefix. $gps_week. $gps_day. '.sp3.Z';
    my $sp3_y = $prefix. $gps_week_y. $gps_day_y. '.sp3.Z';
    my $sp3_t = $prefix. $gps_week_t. $gps_day_t. '.sp3.Z';
    my $host = 'iono.fcaglp.unlp.edu.ar';
    my $user = 'anonymous';
    my $pw = 'anonymous';
    my $ftp = Net::FTP->new($host);
    $ftp->login($user,$pw) or die "Couldn't login\n";
    $ftp->binary();
    chdir($working_dir);
}

```

```

my $path      = "/pub/ep/efemerides/$type/$year/";
$ftp->cwd($path) or print "# Couldn't move to the directory: ".$path."\n";
$ftp->get($sp3) or print "# Couldn't find the file $sp3\n";
$path        = "/pub/ep/efemerides/$type/$year/";
$ftp->cwd($path) or print "# Couldn't move to the directory: ".$path."\n";
$ftp->get($sp3_y) or print "# Couldn't find the file $sp3_y\n";
$path        = "/pub/ep/efemerides/$type/$year/";
$ftp->cwd($path) or print "# Couldn't move to the directory: ".$path."\n";
$ftp->get($sp3_t) or print "# Couldn't find the file $sp3_t\n";
$path        = "/pub/ep/efemerides/transmitidas/$year/";
$ftp->cwd($path) or print "# Couldn't move to the directory: ".$path."\n";
$ftp->get($brdc) or print "# Couldn't find the file $brdc \n";
$path        = "/pub/ep/erp/precisas/$year/";
$ftp->cwd($path) or print "# Couldn't move to the directory: ".$path."\n";
$ftp->get($polo) or print "# Couldn't find the file $polo \n";
# %%% Chequeo de que anduvo bien
system("$gunzip $working_dir$sp3");
system("$gunzip $working_dir$sp3_y");
system("$gunzip $working_dir$sp3_t");
system("$gunzip $working_dir$brdc");
system("$gunzip $working_dir$polo");
}
1;

```

```

#####          06_Get Coord.pl          #####
# Objective: Get user coordinates          #
#####
###
use strict;
sub get_coord
{
    my $working_dir = $_[0];
    my $rinex      = $_[1];
    my @Coord;
    $Coord[0] = 'NO';
    open(RINEX,"$working_dir$rinex") || die "$!\n";
    while( (defined($_=<RINEX>)) &&($Coord[0] eq 'NO') )
    {
        if( $_ =~ /(APPROX POSITION XYZ)/){
            $_ =~ s/(APPROX POSITION XYZ)//;
            $_ =~ s/ //;
            @Coord = split(/ +/, $_);
            chomp(@Coord);
            my $X_user = $Coord[1];
            my $Y_user = $Coord[2];
            my $Z_user = $Coord[3];
            return($X_user,$Y_user,$Z_user);
        }
    }
    close (RINEX);
}
1;

```

```

##### 07_get closer station.pl #####
# Objective: Search the station fixed closer to the dates #
#####
###
use strict;
use Net::FTP;
use File::Copy;
use Archive::Extract;
require ("d:\\Hernan\\subroutines\\pre_processing\\dist_geod.pl");
sub get_closer_station
{
    my $rinex = $_[0];
    my $X_user = $_[1];
    my $Y_user = $_[2];
    my $Z_user = $_[3];
    my $proc = $_[4];
    my $working_dir = $_[5];
    my $stations = "d:\\Hernan\\input\\stations.txt";
    my $doy = substr($rinex,4,3);
    my $y2k = substr($rinex,9,2);
    my $user_name = substr(lc($rinex),0,4);
    my $year;
    my $path_rinex;
    my $closer_rinex;
    my $gzip = ".\\programas\\gzip -d ";
    my $unzip = "7zG.exe";
    my $crx2rnrx = "d:\\Hernan\\programas\\crx2rnrx";
    if ($y2k > 84)
    {
        $year = $y2k + 1900;
    }
    else
    {
        $year = $y2k + 2000;
    }
    my %distances;
    my %distances_2;
    my $station;
    my $Delta;
    my $rinex_ref;
    open(STATIONS, "<$stations") || die("Couldn't open the file");
    while(<STATIONS>)
    {
        my @col=split(/s+/, $_);
        $station = lc($col[0]);
        my $network = $col[4];
        my $rinex_ref = $station.$doy.'0.'.$y2k.'d.gz'; ##### MALLLLLLLLLLLLLL !!!
        if ($network eq 'igs')
        {
            $path_rinex = 'd:/var/ftp/pub/ep/rinex/'.$year.'/'.$doy.'/'.$rinex_ref;

```

```

}
else
{
$path_rinex = 'd:/var/ftp/priv/sirgas/'.$network.'/'. $year.'/'. $doy.'/'. $rinex_ref;
}
if (-e "$path_rinex")
{
my $X_ref_station = $col[1];
my $Y_ref_station = $col[2];
my $Z_ref_station = $col[3];
$Delta =
dist_geod($X_user,$Y_user,$Z_user,$X_ref_station,$Y_ref_station,$Z_ref_station);
$distances{$Delta} = $station;
$distances_2{$Delta} = $path_rinex;
}
}
close(STATIONS);

foreach $Delta (sort {$a <=> $b} keys (%distances))
{
my $closer_station = $distances{$Delta};
$path_rinex = $distances_2{$Delta};
$closer_rinex = $closer_station.$doy."0.". $y2k."d.Z";
if ($closer_station ne $user_name)
{
my $rinex_o = $closer_station.$doy."0.". $y2k."o";
my $rinex_h = $closer_station.$doy."0.". $y2k."d";
my $ae = Archive::Extract->new( archive => "$path_rinex" );
my $ok = $ae->extract( to => ".\\$rinex_h" );
# system("$crx2rnx -f $working_dir$rinex_h");
print("$crx2rnx -f $working_dir$rinex_h \n");
return($closer_rinex,$Delta);
last;
}
}

# print("AAAAAAAAAAA $path_rinex $working_dir$rinex_ref \n");
# copy("$path_rinex","$working_dir$rinex_ref");
# system();
# system();
# system("$gzip .\\proceso\\$proc\\$rinex_ref");

}
1;

```

```

#####      08_ref station data.pl      #####
# Objective: Extracts the type data of ref statio in the RINEX file      #
#####
###
use strict;
sub ref_station_data
{
    my $closer_rinex = $_[0];
    my $ref = uc(substr($closer_rinex,0,4));
    my $ref_1 = $ref.' ';
    my $ref_2 = $ref.'*';
    my $refest;
    my $receiver;
    my $antenna;
    my $data_a_priori_dir = "d:\\Hernan\\datos_a_priori\\";
    my $sta_info = 'STAINFO_D.STA';
    open(STA,"$data_a_priori_dir$sta_info") || die "$!\n";
    my $line;
    my @lines;
    my @antennas;
    my $antenna_1;
    @lines = <STA>;
    while ($line = pop @lines)
    {
        my $length = length($line);
        if ( ($length == 177) && ($line =~ m/$ref_1/) )
        {
            $refest=substr($line,0,14);
            $receiver=substr($line,69,20);
            $antenna=substr($line,91,20);
            @antennas = split(' ', $antenna);
            $antenna_1 = @antennas[0];
        }
    }
    close(STA);
    return($refest,$receiver,$antenna_1);
}
1;

```

## Anexo Nº 2

```
##### 0100 sesiones #####
# Objetivo: Crear la sesion de Bernese #
#####
use strict;
use File::Copy;
use Getopt::Long;
sub sesiones
{
    my $receptor = $_[0]; # Nombre del receptor
    my $antena = $_[1]; # Nombre de la antena
    my $campaign = $_[2]; # Nombre de la campaña
    # Genera los directorios
    mkdir ($campaign);
    mkdir ("$campaign\ATM");
    mkdir ("$campaign\BPE");
    mkdir ("$campaign\OBS");
    mkdir ("$campaign\ORB");
    mkdir ("$campaign\ORX");
    mkdir ("$campaign\OUT");
    mkdir ("$campaign\RAW");
    mkdir ("$campaign\SOL");
    mkdir ("$campaign\STA");
    # Copia los archivos necesarios con informacion a priori
    my $dir_sistema = "d:\Hernan\datos_a_priori";
    copy("$dir_sistema\ABBREV_D.ABB","$campaign\STA\ABBREV_D.ABB");
    copy("$dir_sistema\lgs05_r.CRD","$campaign\STA\lgs05_r.CRD");
    copy("$dir_sistema\ITRFCODE.BLQ","$campaign\STA\ITRFCODE.BLQ");
    copy("$dir_sistema\SESSIONS.SES","$campaign\STA\SESSIONS.SES");
    copy("$dir_sistema\STAINFO_D.STA","$campaign\STA\STAINFO_D.STA");
    # Modifica el nombre del receptor y la antena con espacios en blanco
    my $relleno_receptor = "22";
    my $relleno_antena = "15";
    my $receptor_relleno = sprintf("%-${relleno_receptor}s",$receptor);
    my $antena_relleno = sprintf("%-${relleno_antena}s",$antena);
    # Modifica el STAINFO
    open(STAINF,"$campaign\STA\STAINFO_D.STA");
    open(STAOUT,">$campaign\STA\STAINFO_D.STA_");
    while (<STAINF>)
    {
        if ($_ =~ 'ZZZZ      001 1989 01 10 00 00 00 2999 12 31 00 00 00 LEICA GRX1200')
        {
            $_ = 'ZZZZ      001 1989 01 10 00 00 00 2999 12 31 00 00 00 ' . $receptor_relleno . $antena_relleno . '
NONE 455363 102826 0.0000 0.0000 0.0000';
        }
        print STAOUT ("$_");
    }
    close(STAINF);
    close(STAOUT);
    unlink("$campaign\STA\STAINFO_D.STA");
    move("$campaign\STA\STAINFO_D.STA_","$campaign\STA\STAINFO_D.STA");
}
1;

##### 0200_sesiones #####
# Objetivo: ejecutar módulo POLUPD #
#####

!/usr/local/bin/perl
#prueba de subrutina bernese
# OBJETO:
use strict;
```

```

use Date::Calc qw( Add_Delta_Days );
require 5.005;
require ('d:\Hernan\subroutines\processing\Date_to_GPS_Week.pl');
require ('d:\Hernan\subroutines\processing\Date_to_Day_of_GPS_Week.pl');
require ('d:\Hernan\subroutines\processing\0201_menu_efemerides_polo.pl');
sub efemerides_polo
{
    my $year   = $_[0];
    my $doy    = $_[1];
    my $campaign = $_[2];
    my $proc   = $_[3];
# Genero el nombre del polo
    my ($year,$month,$day) = Add_Delta_Days($year,1,1,$doy-1);
    my $GPS_Week      = Date_to_GPS_Week($year,$month,$day);
    my $Day_GPS_Week  = Date_to_Day_of_GPS_Week($year,$month,$day);
    my $serp_week     = 'igs'.$GPS_Week.'7.erp'; #nombre de archivo de orientación
    my $serp          = 'igs'.$GPS_Week.$Day_GPS_Week;
# Copio el archivo del polo
    copy("d:\Hernan\proceso\proc\serp_week","$campaign\ORB\serp_week");
# Genero el menu
    $campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
    print("$campaign\n");
    menu_efemerides_polo ($year, $doy, $campaign, $serp_week, $serp);
# Corro Bernese
    my $pol  = "c:\BERN50\PGM\EXE\POLUPD.exe";
    my $polinp = "c:\GPSUSER\PAN\POLUPD.INP";
    system("$pol $polinp");
}
1;

```

##### 0300\_efemérides\_transmitidas\_a\_bernese #####

```

# Objetivo: ejecutar módulo RXNBV3 #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
require ('d:\Hernan\subroutines\processing\0301_menu_efemerides_transmitidas_a_bernese.pl');
sub efemerides_transmitidas_a_bernese
{
    my $year   = $_[0]; # año
    my $doy    = $_[1]; # dia gps
    my $campaign = $_[2]; # nombre del usuario, número de proceso
    my $proc   = $_[3];
# Genero el nombre de la efemeride
    my $efem   = 'auto'.sprintf("%03d",$doy).'0.'.substr($year,2,2).'\n';
# Copio el archivo de efemeride
    copy("d:\Hernan\proceso\proc\efem","$campaign\RAW\efem");
# Genero el menu
    $campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
    menu_efemerides_transmitidas_a_bernese($year,$doy,$campaign);
# Corro Bernese
    my $rxn  = "c:\BERN50\PGM\EXE\RXNBV3.exe";
    my $rxninp = "c:\GPSUSER\PAN\RXNBV3.INP";
    system("$rxn $rxninp");
}
1;

```

##### 0400\_efemérides\_bernese\_a\_tabulares #####

```

# Objetivo: Transforma archivo de navegación bernese a tabulares #
#####
use warnings;
use strict;

```

```

require 5.005;
require ('d:\Hernan\subroutines\processing\0401_menu_efemerides_bernese_a_tabulares.pl');
sub efemerides_bernese_a_tabulares
{
    my $year = $_[0]; #año
    my $doy = $_[1]; #dia gps
    my $campaign = $_[2]; #nombre del usuario, número de proceso
    $campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
    menu_efemerides_bernese_a_tabulares($year, $doy, $campaign);
# Defino los programas a utilizar
    my $brd = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\BRDTAB.exe";
    my $brdinp = "c:\\GPSUSER\\PAN\\BRDTAB.INP";
# Corro bernese
    system ("$brd $brdinp");
}
1;

```

```

##### 0500_efemérides_tabulares_a_estandares #####
# Objetivo: Efemerides tabulares a estandares #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
require ('c:\Proc_Aut_Bern\subrutinas\0501_menu_efemerides_tabulares_a_estandares.pl');
sub efemerides_tabulares_a_estandares
{
    my $year = $_[0]; #año
    my $doy = $_[1]; #dia gps
    my $campaign = $_[2]; #nombre del usuario, número de proceso
    $campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
    menu_efemerides_tabulares_a_estandares($year, $doy, $campaign);
# Defino los programas a utilizar
    my $std = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\ORBGEN.exe";
    my $stdinp = "c:\\GPSUSER\\PAN\\ORBGEN.INP";
# Corro bernese
    system ("$std $stdinp");
}
1;

```

```

##### 0550_reloj_satelite #####
# Objetivo: Reloj de Satelites #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
require ('c:\Proc_Aut_Bern\subrutinas\0551_menu_satclk.pl');
sub reloj_satelite
{
    my $year = $_[0]; #año
    my $doy = $_[1]; #dia gps
    my $campaign = $_[2]; #nombre del usuario, número de proceso
    $campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
    menu_satclk($year,$doy,$campaign);
# Defino los programas a utilizar
    my $clk = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\SATCLK.exe";
    my $clkinp = "c:\\GPSUSER\\PAN\\SATCLK.INP";
# Corro bernese
    system ("$clk $clkinp");
}
1;

```

```
##### 0600_rinex_a_bernese #####
# Objetivo: Transforma archivo de observación rinex a formato Bernese #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
require ('c:\Proc_Aut_Bern\subrutinas\0601_menu_rinex_a_bernese.pl');
sub rinex_a_bernese
{
    my $year = $_[0]; # año
    my $doy = $_[1]; # dia gps
    my $campaign = $_[2]; # nombre del usuario, número de proceso
    my $base_rinex = $_[3]; # nombre de la estacion base
    my $user_rinex = $_[4]; # nombre de la estacion del usuario
    copy ("c:\\Proc_Aut_Bern\\$user_rinex", "$campaign\\RAW\\$user_rinex");
    copy ("c:\\Proc_Aut_Bern\\$base_rinex", "$campaign\\RAW\\$base_rinex");
    $campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
    menu_rinex_a_bernese($year,$doy,$campaign,$base_rinex,$user_rinex);
# Defino los programas a utilizar
    my $rxo = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\RXOBV3.exe";
    my $rxoinp = "c:\\GPSUSER\\PAN\\RXOBV3.INP";
# Corro bernese
    system ("$rxo $rxoinp");
}
1;
```

```
##### 0700_codspg #####
# Objetivo: Sincronización de relojes y coordenadas aproximadas #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
require ('c:\Proc_Aut_Bern\subrutinas\0702_menu_codspg2.pl');
sub codspg
{
    my $year = $_[0]; # año
    my $doy = $_[1]; # dia gps
    my $campaign = $_[2]; # nombre del usuario, número de proces
    my $base = $_[3]; # nombre del archivo codigo de base
    my $usuario = $_[4]; # nombre del archivo codigo rover
    my $frec = $_[5]; # frecuencia observada
    my $observable = $_[6]; # observable utilizado
#
    $campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
    menu_codspg2($year,$doy,$campaign,$base,$usuario,$frec,$observable);
# Defino los programas a utilizar
    my $cod = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\CODSPP.exe";
    my $codinp = "c:\\GPSUSER\\PAN\\CODSPP.INP";
# Corro bernese
    system ("$cod $codinp");
}
1;
```

```
##### 0800_sngdif #####
# Objetivo: Creación de archivos de simples diferencias #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
require ('c:\Proc_Aut_Bern\subrutinas\0801_menu_sngdif.pl');
sub sngdif
{
```

```

my $year      = $_[0]; # año
my $doy       = $_[1]; # dia gps
my $campaign  = $_[2]; # nombre del usuario, número de proces
my $base      = $_[3]; # nombre del archivo codigo de base
my $user      = $_[4]; # nombre del archivo codigo rover
#
$campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
menu_sngdif($year,$doy,$campaign,$base,$user);
# Defino los programas a utilizar
my $sng      = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\SNGDIF.exe";
my $snginp   = "c:\\GPSUSER\\PAN\\SNGDIF.INP";
# Corro bernese
system("$sng $snginp");
}
1;

```

**##### 0900\_mauprp.pl #####**

```

# Objetivo: Preprocesamiento de observaciones fase #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
use Date::Calc qw( Add_Delta_Days );
require ('c:\\Proc_Aut_Bern\\subrutinas\\Date_to_GPS_Week.pl');
require ('c:\\Proc_Aut_Bern\\subrutinas\\Date_to_Day_of_GPS_Week.pl');
require ('c:\\Proc_Aut_Bern\\subrutinas\\0901_menu_mauprp.pl');
sub mauprp
{
    my $year      = $_[0]; # año
    my $doy       = $_[1]; # dia gps
    my $campaign  = $_[2]; # nombre del usuario, número de proces
    my $base      = $_[3]; # nombre del archivo codigo de base
    my $user      = $_[4]; # nombre del archivo codigo rover
    my $frec      = $_[5]; #frecuencia de solucion de triple diferencia
    my $frec0     = $_[6]; #frecuencia a chequear
# Genero el nombre del polo
my ($yea,$month,$day) = Add_Delta_Days($year,1,1,$doy-1);
my $GPS_Week      = Date_to_GPS_Week($yea,$month,$day);
my $Day_GPS_Week  = Date_to_Day_of_GPS_Week($yea,$month,$day);
my $serp          = 'igs'.$GPS_Week.$Day_GPS_Week;
#
$campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
menu_mauprp($year,$doy,$campaign,$base,$user,$frec,$frec0,$serp);
# Defino los programas a utilizar
my $mrp      = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\MAUPRP.exe";
my $mrpinp   = "c:\\GPSUSER\\PAN\\MAUPRP.INP";
# Corro bernese
system("$mrp $mrpinp");
}
1;

```

**##### 1000\_gpsest.pl #####**

```

# Objetivo: Estimación de Parámetros #
#####
use warnings;
use strict;
require 5.005;
use Date::Calc qw( Add_Delta_Days );
require ('c:\\Proc_Aut_Bern\\subrutinas\\Date_to_GPS_Week.pl');
require ('c:\\Proc_Aut_Bern\\subrutinas\\Date_to_Day_of_GPS_Week.pl');
require ('c:\\Proc_Aut_Bern\\subrutinas\\1001_menu_gpsestpf.pl');
sub gpsest
{

```

```

my $year      = $_[0]; # año
my $doy       = $_[1]; # dia gps
my $campaign  = $_[2]; # nombre del usuario, número de proces
my $base      = $_[3]; # nombre del archivo codigo de base
my $user      = $_[4]; # nombre del archivo codigo rover
my $frec      = $_[5]; # frecuencia de solucion de triple diferencia
my $amb       = $_[6]; # estrategia de solucion de ambigüedades
my $refest    = $_[7]; # estacion de referencia

#
$campaign = substr($campaign,11,8); # Ir hasta el último caracter
menu_gpsestpf($year,$doy,$campaign,$base,$user,$frec,$amb,$refest);
# Defino los programas a utilizar
my $gps      = "c:\\BERN50\\PGM\\EXE\\GPSEST.exe";
my $gpsinp   = "c:\\GPSUSER\\PAN\\GPSEST.INP";
# corro bernese
system("$gps $gpsinp");
}
1;

```

## ANEXO N° 3: REPORTE DE SALIDAS

### POLUPD

```
=====
Program : POLUPD                               Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose : Create Pole File in Bernese Format
Campaign: ${P}/PAB_2820                         Default session: 0100 year 2010
Date    : 16-Jul-2012 20:23                    User name      : IBM-Lenovo
=====
```

prueba enero 2009

#### INPUT AND OUTPUT FILENAMES

```
-----
Session table           : ${P}/PAB_2820\STA\SESSIONS.SES
Pole offset coefficients : ---
Difference GPS-UTC      : ${X}/GEN\GPSUTC
Resulting Bernese formatted : ${P}/PAB_2820\ORB\igs15660.ERP
Program output         : ${P}/PAB_2820\OUT\POLUPD.000
Error message          : ${U}\WORK\ERROR.MSG
-----
```

#### File Input IERS ERP files

```
-----
1  ${P}/PAB_2820\ORB\igs15667.erp
-----
```

#### OPTIONS

```
-----
Default nutation model      : IAU2000
Default subdaily model     : IERS2000
Number of values for Bulletin B : 5
Use ERP rates               : 1
Include nutation offsets    : 0
-----
```

```
Input file format type      : 15
Nutation model name written : IAU2000
Subdaily model name written : IERS2000
```

### RXNBV3

```
=====
Program : rxnbv3                               Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose : Transformation of rinex navigation files into Bernese broadcast files
Campaign: ${P}/PAB_2820                         Default session: 0100 year 2010
Date    : 16-Jul-2012 20:23                    User name      : Hernan
=====
```

#### PROCESO

```
-----
FILE RINEX FILENAME                               BERNESE BROADCAST FILENAME          #MESS
-----
```

```
### PG RXNBV3: SATELLITE PERMANENTLY SET UNHEALTHY
SATELLITE NUMBER: 1
```

```
### PG RXNBV3: SATELLITE TEMPORARILY SET UNHEALTHY
SATELLITE NUMBER: 25
```

```
1  ${P}/PAB_2820\RAW\auto0100.10n  ${P}/PAB_2820\ORB\auto0100.BRD  429
```

## SATCLK

```
=====
Program : SATCLK                               Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose : GENERATE SATELLITE CLOCK
Campaign: ${P}/PAB_2820                         Default session: 0100 year 2010
Date    : 16-Jul-2012 20:23                    User name      : IBM-Lenovo
=====
```

prueba feb 2011

### INPUT AND OUTPUT FILENAMES

```
-----
Session table           : ${P}/PAB_2820\STA\SESSIONS.SES
General constants      : ${X}/GEN\CONST.
Broadcast ephemeris    : ${P}/PAB_2820\ORB\auto0100.BRD
Satellite clock results: ${P}/PAB_2820\ORB\auto0100.CLK
Program output         : ${P}/PAB_2820\OUT\SATCLK.000
Error messages         : ${U}/WORK\ERROR.MSG
-----
```

```
*****
SATCLK: EXTRACTS SATELLITE CLOCKS OUT OF THE BROADCAST MESSAGES 16-JUL-12 20:23
*****
```

### PROCESSING WINDOW

```
-----
Date      Time      MJD      GPSWeek Seconds
-----
From 2010-01-10 00:00:00 55206.00000 1566 0
To 2010-01-10 23:59:59 55206.99999 1566 86399
-----
```

NUMBER OF CLOCK RECORDS CONVERTED: 399

## RXOBV3

```
=====
====
Program : rxobv3
Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose : Importing RINEX observations to Bernese
Campaign: ${P}/PAB_2820
Default session: 0100 year 2010
Date    : 16-Jul-2012 20:23
User name : IBM-Lenovo
=====
=====
```

### INPUT AND OUTPUT FILENAMES

```
-----
Session table           : ${P}/PAB_2820\STA\SESSIONS.SES
General constants      : ${X}/GEN\CONST.
Difference GPS-UTC     : ${X}/GEN\GPSUTC.
Satellite problems     : ${X}/GEN\SAT_2010.CRX
Satellite information  : ${X}/GEN\SATELLIT.I05
Receiver information    : ${X}/GEN\RECEIVER.
Phase center eccentricities: ${X}/GEN\PHAS_COD.I05
Abbreviation table     : ${P}/PAB_2820\STA\ABBREV_D.ABB
Station information file: ${P}/PAB_2820\STA\STAINFO_D.STA
Program output         : ${P}/PAB_2820\OUT\RXOBV3.000
Error messages         : ${U}/WORK\ERROR.MSG
Scratch file 1         : ${U}/WORK\RXOBV3.SCR
Scratch file 2         : ${U}/WORK\RXOBV3.SC1
Scratch file 3         : ${U}/WORK\RXOBV3.SC2
Accepted station information: ---
-----
```

PROGRAM INPUT OPTIONS:

```

-----
Satellite system to be considered      : GPS only

Gather station names from             : Marker name in RINEX file
Update of abbreviation list for new stations : update (big letters only)

Session ID used for Bernese observation files : 0100

Data sampling interval                 : same as in RINEX
Data sampling offset to full minute    : no offset

Minimum signal strength required       : 1
Accept signal strength = 0             : enabled
Accept cycle slip flags from RINEX    : disabled

Minimum number of epochs requested per file : 10 epochs

Flags to be considered in station info file : ${P}/PAB_2820\STA\STAINFO_D.STA
Type 001: Renaming of stations         : all entries
Type 002: Station information          : all entries
Type 003: Station problems             : all entries
Type 005: Marker types                 : all entries

Actions in case of inconsistencies
Station name                           : warning
Alternative station name from RINEX file : enabled
Receiver/antenna type                  : warning
Radome code                            : considered
Position of radome code                 : not corrected
Receiver/antenna number                 : warning
Antenna position                       : warning
Marker type                             : warning

Verify station name/number using        : Marker name+number
Verify station name using RINEX file name : enabled

Check phase center for receiver/antenna : warning

```

SUMMARY OF RINEX DATA TRANSFERRED TO BERNESE FILES:

```

-----
Num  Rinex file name          Fr Sa Epoch Start time      End time
#C1  #P1  #P2  #L1  #L2
-----
1  ${P}/PAB_2820\RAW\cfag0100.10o  2 29 5760 2010-01-10 00:00:00 2010-01-10 23:59:45
46814 0 45560 46776 45551
2  ${P}/PAB_2820\RAW\unro0100.10o  1 12 477 2010-01-10 00:00:15 2010-01-10 02:00:15
4149 0 0 4149 0

```

STATION NAMING SUMMARY:

```

-----
Num  Rinex file name          Station name      Rinex marker name  Rinex marker
number Rinex marker type
-----
1  ${P}/PAB_2820\RAW\cfag0100.10o  CFAG 41517S001    CFAG                41517S001
#Verify
2  ${P}/PAB_2820\RAW\unro0100.10o  UNRO 41525M001    UNRO
#Verify

```

STATION INFORMATION SUMMARY:

```

-----
Station information used in Bernese observation files      RINEX header
information if it is different
Station name      Receiver name      Antenna name      Antenna height    Receiver name
Antenna name      Antenna height
-----
CFAG 41517S001    TRIMBLE NETRS      ASH700936D_M     NONE              0.0000 m
#Problem
UNRO 41525M001    ASHTECH Z-XII3     TRM41249.00     NONE              0.0000 m
#Problem

```

STATION MARKER TYPE SUMMARY:

-----  
 Station name            Marker type                            Rinex marker type if it is different  
 -----

TABLE OF INPUT AND OUTPUT FILE NAMES:

#satell.				#observations			
Num	Rinex file name	Bernese code	header file name	#epo	#C1/P1	#P2	GPS
GLO							
		Bernese code	observ. file name				
GLO	#amb	Bernese phase	header file name	#epo	#L1	#L2	GPS
		Bernese phase	observ. file name				
1	1 \${P}/PAB_2820\RAW\cfag0100.10o	\${P}/PAB_2820\OBS\CFAG0100.	CZH	5760	46814	45560	29
0							
0	29						
2	2 \${P}/PAB_2820\RAW\unro0100.10o	\${P}/PAB_2820\OBS\UNRO0100.	CZH	477	4149	0	12
0							
0	12						

**GPSEST**

=====  
 Program : GPSEST  
 Bernese GPS Software Version 5.0  
 Purpose : Parameter estimation  
 Campaign: \${P}/PAB\_2820  
 Default session: 0100 year 2010  
 Date : 16-Jul-2012 20:24  
 User name : Hernan  
 =====

PROCESO

-----  
 1\${P}/PAB\_2820  
 PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
 PROCESO  
 BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0  
 -----

TABLE OF CONTENTS

- 
1. CAMPAIGNS
  2. OBSERVATION FILES
  3. GENERAL OPTIONS
  4. STATIONS
  5. SATELLITE ORBITS
  6. ATMOSPHERE
  7. CLOCK PARAMETERS
  8. POLE COORDINATES AND TIME INFORMATION
  9. ANTENNA PHASE CENTERS
  10. CONSTANTS
  11. PARAMETER CHARACTERIZATION LIST
  12. TEST OUTPUT
  13. RESULTS (PART 1)
  14. RESULTS (PART 2)

1\${P}/PAB\_2820  
 PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24

-----  
----

INPUT AND OUTPUT FILENAMES

-----  
----

Session table : \${P}/PAB\_2820\STA\SESSIONS.SES  
General constants : \${X}/GEN\CONST.  
Geodetic datum : \${X}/GEN\DATUM  
Station information : \${P}/PAB\_2820\STA\STAINFO\_D.STA  
Earth rotation parameters : \${P}/PAB\_2820\ORB\igs15660.ERP  
Subdaily pole model : \${X}/GEN\IERS2000.SUB  
Nutation model : \${X}/GEN\IAU2000.NUT  
Satellite information : \${X}/GEN\SATELLIT.IO5  
Receiver information : \${X}/GEN\RECEIVER  
Satellite problems : \${X}/GEN\SAT\_2010.CRX  
Phase center eccentricities : \${X}/GEN\PHAS\_COD.IO5  
SINEX general input file : \${X}/GEN\SINEX.  
IONEX control file : \${X}/GEN\IONEX.  
Difference GPS-UTC : ---  
A priori station coordinates: \${P}/PAB\_2820\STA\Igs05\_r.CRD  
GNSS standard orbits : \${P}/PAB\_2820\ORB\auto0I00.STD  
GNSS orbit partials : ---  
Ionosphere models : ---  
Troposphere estimates : ---  
Station sigma factors : ---  
Station eccentricities : ---  
Ocean loading tables : ---  
GNSS clock corrections : ---  
Differential code biases : ---  
Receiver antenna orientation: ---  
Kinematic coordinates : ---  
Kinematic velocities : ---  
Standard orbit(s) : ---  
Orbit partials : ---  
Attitude data : ---  
Precise orbit(s) : ---  
LEO orbital elements : ---  
Station coordinates : \${P}/PAB\_2820\STA\Gpsest.crd  
GNSS orbital elements : ---  
Troposphere estimates : ---  
Troposphere SINEX : ---  
Ionosphere models : ---  
IONEX : ---  
Residuals : ---  
Coordinate covariance matrix: ---  
Full covariance matrix : ---  
Normal equations : ---  
Bernese ERP file : ---  
IERS ERP file : ---  
GNSS clock corrections : ---  
Clock RINEX : ---  
Kinematic coordinates : ---  
Differential code biases : ---  
Phase center variations (gri: ---  
Phase center variations (har: ---  
Scratch file : \${U}/WORK\GPSEST.SCR  
Scratch files : \${U}/WORK\GPSEST.SC1  
Program output : \${P}/PAB\_2820\OUT\GPSEST.000  
Error message : \${U}/WORK\ERROR.MSG

-----  
----

1\${P}/PAB\_2820  
PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
PROCESO  
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

-----  
----

1. CAMPAIGNS

CAMPAIGN NAME	NUM STATION NAME	NUM STATION NAME	NUM STATION NAME	NUM STATION NAME
---------------	------------------	------------------	------------------	------------------

-----  
----

\${P}/PAB\_2820 : 93 CFAG 41517S001 531 UNRO 41525M001

2. OBSERVATION FILES

-----  
----

1\${P}/PAB\_2820

-----  
MAIN CHARACTERISTICS:  
-----

FILE	OBSERVATION FILE	HEADER	OBSERVATION FILE	SESS	RECEIVER 1	RECEIVER 2
1	1\${P}/PAB_2820\OBS\cfun0100.PSH		1\${P}/PAB_2820\OBS\cfun0100.PSO	0100	TRIMBLE NETRS	ASHTECH Z-XII3

AMB.I.+S.	#CLUSTERS	STATION 1	STATION 2	SESS	FIRST OBSERV.TIME	#EPO	DT	#EF	#CLK	ARC
1	P	L1	CFAG 41517S001	UNRO 41525M001	0100	10-01-10	0:00:15	481	15	0 E E 1
11	N Y N	11 11	- -	0						

-----  
SATELLITES:  
-----

FILE	#SAT	SATELLITES
1	11	5 10 12 16 18 21 22 24 29 30 31

-----  
OBSERVATION SELECTION:  
-----

SAMPLING RATE : 5 SEC  
ELEVATION CUT-OFF ANGLE : 3 DEGREES  
SATELLITE SYSTEM : GPS  
SPECIAL DATA SELECTION : NO

1\${P}/PAB\_2820  
PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
PROCESO  
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

**3. GENERAL OPTIONS**

TIDAL CORRECTION OF STATION COORDINATES : IERS CONVENTIONS 2000

A PRIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT:  
-----

A PRIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT : 0.001 M (SIGMA OF ONE-WAY L1 PHASE OBSERVABLE AT ZENITH)

MODEL FOR ELEVATION-DEPENDENT WEIGHTING : 1/COS(Z)

POLARIZATION EFFECT : GEOMETRICAL

-----  
CORRELATIONS AND SESSIONS:  
-----

STRATEGY : CORRELATIONS CORRECTLY MODELLED  
TIME INTERVAL : 0.10000 SEC (TO IDENTIFY EPOCH)

SESS #FILE FILE NUMBERS  
-----

0100 1 1

AMBIGUITY RESOLUTION STRATEGY:  
-----

AMBIGUITIES ROUNDED TO NEAREST INTEGERS

SYNCHRONIZATION ERRORS:  
-----

STRATEGY : SYNCHRONIZATION ERRORS NOT APPLIED





NUTATION MODEL: IAU2000  
 SUBDAILY POLE MODEL: IERS2000  
 1\${P}/PAB\_2820  
 PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
 PROCESO  
 BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

-----  
 ----

**12. TEST OUTPUT**

MIN. AND MAX. ELEVATION/NADIR ANGLES AND MAX. SYNCHRONIZATION ERRORS:

-----

SESS	FILE	STATION NAME 1	STATION NAME 2	MIN/MAX ELEV.	MIN/MAX NADIR	SYNCH. ERR. (NS)
0100	1	CFAG 41517S001	UNRO 41525M001	9.8 84.2	1.4 13.7	0.0

1\${P}/PAB\_2820  
 PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
 PROCESO  
 BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

-----  
 ----

**13. RESULTS (PART 1)**

NUMBER OF PARAMETERS (PART 1):

-----

PARAMETER TYPE			#PARAMETERS	#PRE-ELIMINATED	#SET-UP
#NO-OBS	#REF	#SINGULAR			
STATION COORDINATES			3	0	3
0	0	0			
AMBIGUITIES			10	10 (AFTER INV)	11
0	1	0			
TOTAL NUMBER OF PARAMETERS			13	10	14
0	1	0			

NUMBER OF OBSERVATIONS (PART 1):

-----

TYPE	FREQUENCY	FILE	#OBSERVATIONS
PHASE	L1	ALL	3403
TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS			3403

A POSTERIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT (PART 1):

-----

A POSTERIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT : 0.0647 M (SIGMA OF ONE-WAY L1 PHASE OBSERVABLE AT ZENITH)  
 DEGREE OF FREEDOM (DOF) : 3390  
 CHI\*\*2/DOF : 4183.67

1\${P}/PAB\_2820  
 PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
 PROCESO  
 BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

-----  
 ----

STATION COORDINATES: \${P}/PAB\_2820\STA\Gpsest.crd

-----

NUM	STATION NAME	PARAMETER	A PRIORI VALUE	NEW VALUE	NEW- A PRIORI	RMS ERROR
3-D ELLIPSOID			2-D ELLIPSE			
531	UNRO 41525M001	X	2627447.6067	2627447.2571	-0.3496	0.0319
		Y	-4668384.5581	-4668383.3334	1.2247	0.0265
		Z	-3450213.8179	-3450212.9820	0.8359	0.0132
		HEIGHT	67.8135	66.3193	-1.4942	0.0283
0.0110	73.1	LATITUDE	- 32 57 33.663552	- 32 57 33.662661	0.0275	0.0139
0.0271	161.7	0.0134 172.2				
		LONGITUDE	- 60 37 42.376465	- 60 37 42.365065	0.2955	0.0300
0.0322	38.5	0.0302				

1\${P}/PAB\_2820  
PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
PROCESO  
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

AMBIGUITIES:

AMBI	FILE	SAT.	EPOCH	FRQ	WLF	CLU	REFERENCE	AMBIGUITY	RMS	TOTAL AMBIGU.	DL/L
1	1	24	1	1	1	11 3		1.72	0.10	-513582.28	
2	1	31	1	1	1	2 11 3		-0.35	0.11	2361629.65	
3	1	5	1	1	1	4 11 3		0.46	0.21	-3560181.54	
4	1	30	1	1	1	5 11 3		2.36	0.12	-1241605.64	
5	1	12	1	1	1	6 11 3		-1.92	0.19	-2501785.92	
6	1	10	1	1	1	7 11 3		-5.80	0.28	-3610328.80	
7	1	29	1	1	1	8 11 3		1.58	0.11	-236241.42	
8	1	18	1	1	1	9 11 3		-4.93	0.11	281972.07	
9	1	16	1	1	1	10 11 3		-8.56	0.14	2025825.44	
10	1	22	1	1	1	11 11 3		-12.00	0.22	1163015.00	
11	1	21	1	1	1	3	---	REFERENCE	---	1894533.	

1\${P}/PAB\_2820  
PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
PROCESO  
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

RMS ERRORS OF ELLIPS. COORDINATES AND COORDINATE DIFFER. IN MM (PART 1):

NUM	B	L	H
531	13.8	30.0	28.3

1\${P}/PAB\_2820  
PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
PROCESO  
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

SLOPE DISTANCES AND RMS ERRORS IN M (PART 1):

NUM	O	N	RMS
531	731447.1554	731447.3577	0.0293

1\${P}/PAB\_2820  
PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
PROCESO  
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

-----  
AMBIGUITY RESOLUTION:  
-----

STRATEGY : AMBIGUITY RESOLUTION TO NEAREST INTEGER

-----  
AMBIGUITY RESOLUTION ITERATION: 1  
-----

FILE	FRQ	AMB1	CLU1	#AMB1	AMB2	CLU2	#AMB2	AMBIGUITY	RMS
1	1	1	1	1	7	8	1	0.139	0.045
1	1	4	5	1	7	8	2	0.777	0.073
1	1	2	2	1	9	10	1	8.212	0.085
1	1	7	8	3	8	9	1	6.517	0.104
1	1	8	9	4	11	3	1	-4.932	0.106
1	1	3	4	1	5	6	1	2.385	0.124
1	1	9	10	2	11	3	4	-8.558	0.141
1	1	5	6	2	11	3	6	-1.921	0.195
1	1	10	11	1	11	3	8	-11.999	0.217
1	1	6	7	1	11	3	9	-5.801	0.278

AMBI	FILE	SAT.	EPOCH	FRQ	WLF	CLU	REFERENCE AMBI	CLU	AMBIGUITY	RMS	TOTAL AMBIGU.	DL/L
1	1	24	1	1	1	1	7	8	0		-513584.	0.00000
2	1	31	1	1	1	2	9	10	8		2361638.	0.00000
3	1	5	1	1	1	4	5	6	2		-3560180.	0.00000
4	1	30	1	1	1	5	7	8	1		-1241607.	0.00000
5	1	12	1	1	1	6	11	3	-2		-2501786.	0.00000
6	1	10	1	1	1	7	11	3	-6		-3610329.	0.00000
7	1	29	1	1	1	8	8	9	7		-236236.	0.00000
8	1	18	1	1	1	9	11	3	-5		281972.	0.00000
9	1	16	1	1	1	10	11	3	-9		2025825.	0.00000
10	1	22	1	1	1	11	11	3	-12		1163015.	0.00000
11	1	21	1	1	1	3			---	REFERENCE ---	1894533.	

1\${P}/PAB\_2820  
PROGRAM GPSEST 16-JUL-12 20:24  
PROCESO  
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0

14. RESULTS (PART 2)

NUMBER OF PARAMETERS (PART 2):  
-----

PARAMETER TYPE	#PARAMETERS	#PRE-ELIMINATED	#SET-UP
#NO-OBS			
#REF			
#SINGULAR			
-----			
STATION COORDINATES	3	0	3
0	0		
AMBIGUITIES	0	0 (AFTER INV)	11
0	1		
-----			
TOTAL NUMBER OF PARAMETERS	3	0	14
0	1		

NUMBER OF OBSERVATIONS (PART 2):  
-----

TYPE	FREQUENCY	FILE	#OBSERVATIONS
------	-----------	------	---------------

```

-----
-----
PHASE          L1          ALL          3403
-----
-----

```

```

-----
TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS          3403
-----
-----

```

```

A POSTERIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT (PART 2):
-----

```

```

A POSTERIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT :    0.0673 M (SIGMA OF ONE-WAY L1 PHASE OBSERVABLE AT ZENITH)
DEGREE OF FREEDOM (DOF)           :    3400
CHI**2/DOF                         :    4525.25

```

```

1${P}/PAB_2820
PROGRAM GPSEST   16-JUL-12 20:24
PROCESO
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0
-----
-----

```

```

STATION COORDINATES:          ${P}/PAB_2820\STA\Gpsest.crd
-----

```

NUM	STATION NAME	PARAMETER	A PRIORI VALUE	NEW VALUE	NEW- A PRIORI	RMS ERROR
3-D ELLIPSOID		2-D ELLIPSE				
531	UNRO 41525M001	X	2627447.6067	2627447.0749	-0.5318	0.0073
		Y	-4668384.5581	-4668383.2260	1.3321	0.0109
		Z	-3450213.8179	-3450212.8994	0.9185	0.0078
		HEIGHT	67.8135	66.1209	-1.6926	0.0130
0.0131	6.4					
		LATITUDE	- 32 57 33.663552	- 32 57 33.663643	-0.0028	0.0058
0.0053	114.3	0.0053 106.2				
		LONGITUDE	- 60 37 42.376465	- 60 37 42.369153	0.1895	0.0054
0.0058	4.5	0.0059				

```

1${P}/PAB_2820
PROGRAM GPSEST   16-JUL-12 20:24
PROCESO
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0
-----
-----

```

```

RMS ERRORS OF ELLIPSES, COORDINATES AND COORDINATE DIFFER. IN MM (PART 2):
-----

```

```

-----
| NUM | | 531 |
-----
| | B | 5.8 |
| 531 | L | 5.4 |
| | H | 13.0 |
-----

```

```

1${P}/PAB_2820
PROGRAM GPSEST   16-JUL-12 20:24
PROCESO
BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0
-----
-----

```

```

SLOPE DISTANCES AND RMS ERRORS IN M (PART 2):
-----

```

```

-----
| NUM | | 93 F |
-----
| 531 | O | 731447.1554 |
| N | N | 731447.2472 |
| | RMS | 0.0053 |
-----

```

**ANEXO Nº 4: CUADROS DE DIFERENCIAS DE COORDENADAS  
(Latitud, Longitud, Altura) SEGÚN OBSERVABLES**

**Diferencias en metros para L3 - día 10**

Distancia	Dif. en Latitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,0452	-0,0444
103	-0,0045	-0,0036	-0,0089	0,0004
156	-0,0191	-0,0211	-0,0207	-0,0431
384			0,0040	-0,0075
420	0,0026	0,0020	-0,0010	0,0060
732	0,0177	0,0214	0,0161	0,0351

Distancia	Dif. en Longitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0000	-0,0010
103	-0,0018	0,0158	0,0171	0,0375
156	-0,0772	-0,0584	-0,0637	-0,0794
384			-0,0331	0,0097
420	0,0350	0,0217	0,0398	0,0301
732	-0,0170	-0,0254	-0,0727	0,0207

Distancia	Dif. en Altura (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0022	0,0016
103	-0,1499	-0,1447	-0,1744	-0,1272
156	-0,0407	-0,0267	-0,0535	0,0743
384			0,0707	0,1000
420	0,1213	0,0482	0,0338	-0,0097
732	0,0753	0,1546	0,1391	0,1396

### Diferencias en metros para L3 - día 20

Distancia	Dif. en Latitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,0441	-0,0371
103	-0,0034	-0,0035	-0,0033	0,0115
156	-0,0231	0,0149	-0,0178	-0,0050
384	0,0013	0,0062	0,0048	-0,0054
420	0,0112	0,0153	0,0194	0,0135
732	0,0164	0,0238	0,0203	-0,0043

Distancia	Dif. en Longitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,0061	-0,0046
103	0,0040	0,0741	0,0111	0,0183
156	-0,0574	0,0042	-0,0672	-0,1074
384	-0,0052	-0,0213	-0,0236	-0,0254
420	0,0487	0,0160	0,0604	0,0629
732	0,0066	-0,0363	-0,0344	-0,0302

Distancia	Dif. en Altura (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0130	0,0355
103	-0,0321	-0,0296	-0,0303	-0,0300
156	0,0008	0,2901	0,0199	0,0803
384	-0,1046	-0,0663	-0,0353	0,0348
420	0,0535	0,0664	0,0649	0,0830
732	-0,1485	-0,0730	-0,0664	-0,0664

### Diferencias en metros para L3 - día 30

Distancia	Dif. en Latitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,0489	-0,0622
103	-0,0017	-0,0046	-0,0022	0,0029
156	-0,0145	-0,0237	-0,0250	-0,0108
384	0,0108	0,0069	0,0043	-0,0274
420	0,0070	0,0066	0,0158	0,0117
732	0,0179	0,0085	-0,0092	-0,0197

Distancia	Dif. en Longitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33	-957,9307	-957,9307	0,0136	-0,1088
103	-0,0034	-0,0002	0,0199	0,0393
156	-0,0792	-0,0702	-0,0589	-0,0479
384	-0,0333	-0,0222	-0,0795	-0,0983
420	0,0252	0,0516	0,0334	0,1070
732	-0,0587	-0,0446	-0,0518	0,1396

Distancia	Dif. en altura (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0179	0,0585
103	-0,1631	-0,1609	-0,1013	-0,0426
156	-0,1479	-0,1063	-0,0611	-0,0406
384	0,0766	-0,0950	-0,1116	-0,0220
420	-0,0190	-0,1440	-0,1041	-0,1025
732	-0,0088	-0,1234	-0,1787	-0,2818

### Diferencias en metros para L1 - día 10

Distancia	Dif. en Latitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,0429	-0,0152
103	-0,0045	-0,0099	-0,0156	0,0136
156	-0,1342	-0,1043	-0,1702	-0,3120
384			-0,0201	-0,0433
420	0,5181	0,1320	0,1867	0,5004
732	-0,1304	-0,1414	-0,3145	-0,1511

Distancia	Dif. en Longitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,1594	-0,0041
103	-0,0018	-0,0073	-0,1504	0,3011
156	-0,1410	-0,0234	0,0695	0,0163
384			-0,2808	0,3373
420	0,3435	-0,0364	-0,0763	0,5106
732	0,7928	0,2763	-0,1056	0,9981

Distancia	Dif. en Altura (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0485	0,1164
103	-0,1499	-0,1734	-0,0611	-0,1195
156	-0,0866	0,0936	0,0610	0,4201
384			0,0498	0,0958
420	0,2794	-0,1661	-0,0725	-0,3978
732	0,0690	0,3151	0,4518	-0,7482

### Diferencias en metros para L1 - día 20

Distancia	Dif. en Latitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,0298	-0,0423
103	-0,0273	0,0169	0,0618	0,1123
156	-0,0257	-0,0257	0,0343	0,0018
384	0,0607	0,0495	0,0778	0,1208
420	0,3377	0,1323	0,1349	-0,0807
732	-0,0360	0,0374	0,1592	0,1256

Distancia	Dif. en Longitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,0206	-0,0291
103	0,1641	-0,0599	-0,1198	-0,2173
156	-0,0980	-0,0980	-0,1869	-0,2771
384	0,5860	0,2825	0,5208	0,3858
420	0,3790	0,0887	0,2692	0,6105
732	1,1508	0,5441	0,9376	-0,2204

Distancia	Dif. en Altura (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0146	0,0334
103	-0,0961	-0,0918	0,0125	-0,0903
156	-0,0070	-0,0070	0,1144	0,3796
384	-0,1640	-0,0903	-0,0087	0,0890
420	0,1119	0,1235	0,1292	0,0726
732	-0,2835	-0,0734	0,0973	0,9659

### Diferencias en metros para L1 - día 30

Distancia	Dif. en Latitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0373	-0,0434
103	-0,0098	0,0438	0,1787	0,2120
156	-0,1532	-0,1963	-0,1660	-0,0369
384	-0,0244	-0,1164	-0,3346	-0,0025
420	0,2620	0,2249	0,1214	0,7572
732	-0,0704	-0,1218	-0,2106	0,4504

Distancia	Dif. en Longitud (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			-0,1277	-0,0366
103	-0,1826	-0,3628	-0,6318	0,1028
156	-0,2420	-0,3038	-0,5614	0,0074
384	0,2852	0,4122	1,3898	1,4377
420	0,2418	0,2741	0,8272	0,0659
732	0,3674	0,5295	1,0380	0,6373

Distancia	Dif. en Altura (m)			
	24 h	12 h	6 h	2 h
33			0,0884	0,0723
103	0,0355	0,0843	0,3755	-0,0447
156	0,0397	0,0199	0,1422	-0,1974
384	-0,3074	-0,6776	-0,9759	-0,8442
420	-0,5856	-0,8203	-0,9439	-0,3532
732	-0,2033	-0,8461	-1,0493	-0,4584

**ANEXO Nº 5: CUADROS DE DIFERENCIAS DE COORDENADAS (Latitud,  
Longitud, Altura) SEGÚN HORAS DE BAJA Y ALTA ACTIVIDAD  
IONOSFERICA**

**Diferencias horas de baja actividad ionosférica**

Distancia	Diferencia en Latitud (m)					
	Día 10		Día 20		Día 30	
	L1	L1+ion	L1	L1+ion	L1	L1+ion
33	-0,0152	-0,0227	-0,0423	-0,0413	-0,0434	-0,0513
103	0,0136	0,0393	0,1123	0,1149	0,2120	0,2448
156	-0,3120	-0,1190	0,0018	-0,0080	-0,0369	0,1882
384	0,5004	0,1587	-0,0807	-0,5408	0,7572	0,2631
420	-0,0433	-0,0612	0,1208	0,0766	-0,0025	-0,1498
732	-0,1511	-0,1367	0,1256	-0,1927	0,4504	0,4354

Distancia	Diferencia en Longitud (m)					
	Día 10		Día 20		Día 30	
	L1	L1+ion	L1	L1+ion	L1	L1+ion
33	-0,0041	0,0259	-0,0291	-0,0157	-0,0366	-0,0179
103	0,3011	0,3721	-0,2173	-0,1768	0,1028	0,3131
156	0,0163	0,2144	-0,2771	-0,4826	0,0074	0,0047
384	0,5106	0,4887	0,6105	-0,0266	0,0659	-0,1288
420	0,3373	-0,1692	0,3858	-0,0455	1,4377	0,9333
732	0,9981	0,1398	-0,2204	-0,7836	0,6373	0,0931

Distancia	Diferencia en Altura (m)					
	Día 10		Día 20		Día 30	
	L1	L1+ion	L1	L1+ion	L1	L1+ion
33	0,1164	0,1266	0,0334	0,0338	0,0723	0,0772
103	-0,1195	-0,2326	-0,0903	-0,1129	-0,0447	0,0723
156	0,4201	0,2079	0,3796	0,4193	-0,1974	-0,2114
384	-0,3978	-0,6047	0,0726	-0,1081	-0,3532	-0,4807
420	0,0958	0,1760	0,0890	-0,7724	-0,8442	-0,6958
732	-0,7482	-0,3617	0,9659	1,3416	-0,4584	-0,4401

### Diferencias horas de alta actividad ionosférica

Distancia	Diferencia en Latitud (m)					
	Día 10		Día 20		Día 30	
	L1	L1+ion	L1	L1+ion	L1	L1+ion
33	-0,0450	-0,0446	-0,0491	0,4438	-0,0089	-0,0193
103	-0,0305	-0,0317	-0,1082	-0,0673	-0,1023	-0,1442
156	-0,1430	-0,1257	0,0000	0,0000	-0,2033	-0,1086
384	-0,0664	-0,1242	0,1549	0,0852	-0,0798	-0,1492
420	0,4352	0,2838	0,7947	0,0150	0,3123	-0,1874
732	-0,0995	-0,1926	0,1894	0,2824	-0,2402	-0,1545

Distancia	Diferencia en Longitud (m)					
	Día 10		Día 20		Día 30	
	L1	L1+ion	L1	L1+ion	L1	L1+ion
33	-0,0591	-0,0305	-0,2381	-0,0405	-0,1933	-0,1733
103	-0,1422	0,1331	-0,3490	-0,0439	-0,4745	-0,2170
156	-0,1527	-0,1090	0,0000	0,0000	-0,1098	0,1104
384	1,0494	1,1193	1,3158	0,1268	1,6378	1,0357
420	0,0921	0,4708	1,5256	1,7514	1,1053	1,0522
732	2,3256	0,8803	3,1116	0,1913	1,9213	0,3320

Distancia	Diferencia en Altura (m)					
	Día 10		Día 20		Día 30	
	L1	L1+ion	L1	L1+ion	L1	L1+ion
33	-0,0253	-0,0216	0,0243	-0,0233	0,0155	0,0132
103	-0,2035	-0,2823	-0,1211	-0,1043	-0,1447	-0,0431
156	-0,1295	-0,1226	0,0000	0,0000	-0,0088	0,0243
384	0,1314	0,4289	-0,1440	-0,0178	0,0972	0,1515
420	0,4562	0,1046	0,5363	0,2231	0,0439	0,3277
732	-1,0307	-0,0970	-0,5514	-0,0776	0,2734	0,5403

## Referencias

- Altamimi, Z., *ITRF2008*, ICG-5, WG D Meeting, Turin, Italy, 2010
- Alvis Rojas, H, Marquez, R., "Determinación de precisiones con receptores topográficos usando EP GPS", XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas y Primer Taller de Trabajo de Estaciones continuas GNSS de América del Caribe, 2009
- Azpilicueta, F., Brunini, C., Radicella, S., *Global ionospheric maps from GPS observations using modip latitude*, Elsevier, 2005
- Blewitt, G. , *GPS and Space-Based Geodetic Methods*, Elsevier 2007
- Bossler, J., *Manual of Geospatial Science and Technology*, Taylor and Francis, 2002
- Brunini, C., *Mapas Ionosféricos Regionales Proyecto Piloto*, Reunión Técnica del Proyecto SIRGAS, Caracas, 2005
- Brunini, C., Gende, M., Meza, A., Moirano, J., Natali, M., Azpilicueta, F., Rodríguez, R., *Seminario GPS 2000, Georeferenciación Satelitaria* – Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP, 2000
- Chuang Shi, Qile Zhao, Jianghui Geng, Yidong Lou, Maorong Ge, Jingnan Liu, *Recent Development of PANDA Software in GNSS Data Processing*, International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA), 2006
- Collins, P., Lahaye, F., Kouba, J., Héroux, P., *Real-Time WADGPS Corrections from Undifferenced Carrier Phase*, ION.NTM, Long Beach, California, 2001
- Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, Subcomité de Geodesia, Grupo de Trabajo Sistemas Geodésicos, *Sistemas Geodésicos*, Primera Edición, 1999
- CPIAA, *Marcos de referencias geodésicos*, CPIAA Chubut, <http://www.colegiochubut.org.ar/agrimensores>, 2002
- Dawson, J., Govind, R., Manning, J., *Application of the AUSLIG Online GPS Processing System (AUSPOS) to Antarctica*, The Australian Surveying and Land Information Group (AUSLIG), 2003
- Drewes, H., Geodetic Reference Frames, IAG Symposium Munich, Alemania, Volume 134, 2006
- Drewes, H., *Reference Systems, Reference Frames, and the Geodetic Datum – basic considerations*, Sideris, M.G. (Ed.), Observing our Changing Earth, IAG Symposia, Vol. 133, 3-9, Springer 2009
- Duval, R., *CANADIAN SPATIAL REFERENCE SYSTEM INTRODUCTION*, Geomatica Vol. 60, 2006
- Ebner, R., Featherstone, W., *How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks?*, Journal of Applied Geodesy 2, de Gruyter 2008
- El-Rabbany, A., *Positionnement GPS par point unique: une solution de remplacement pour les levés par GPS differential*, Département de genie civil, Ryerson University, 2003
- El-Rabbany, A., *Introduction to GPS The Global Positioning System*, Artech House, 2002

- Groves, P.D., *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, 2008
- EU-US Cooperation on Satellite Navigation, Working Group C, *COMBINED PERFORMANCES FOR SBAS RECEIVERS USING WAAS and EGNOS*, 2010
- EUREF, *Guidelines for EPN Stations & Operational Centres*, European Reference Frame 2010
- Farrel, J.A. , *Aided Navigation GPS with High Rate Sensors*, Mc Graw Hill, 2008
- Featherstone, W., *Reprocessing the Western Australian Statefix Geodetic GPS Network Using Commercial Software*, 3º FIG Regional Conference, Jakarta, Indonesia, 2004
- Geirsson, H., *Continuous GPS measurements in Iceland 1999-2002*, Tesis de Master, Universidad de Vedurstofa Islands, 2003
- Gende, M., Brunini, C., Valladares, C., *Near real time VTEC estimation using La Plata Ionospheric Mode*, IAG Scientific Assembly: Geodesy for Planet Earth, Buenos Aires, Argentina, 2009
- Gomasasca, Mario, *Basics of Geomatics*, Springer Dordrecht Heidelberg, 2004
- Guochag Xu, *GPS Theory, Algorithms and Applications*, Second Edition, Springer 2007
- Hofmann-Wellenhof, B., Moritz, H., *Physical Geodesy*, Springer, 2005
- Hoyer, M., Marino, T., *Estándares para Estaciones SIRGAS*, Reunión Técnica Proyecto SIRGAS, Costa Rica, 2006
- Huerta, E., Mangiaterra, A., Noguera, G., *GPS Posicionamiento Satelital*, UNR Editora, 2005
- IBGE, *Especificacoes e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em territorio brasileiro*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <http://www.ibge.gov.br/espanhol/geociencias/geodesia/default.shtm>, 1983
- IBGE, *Manual do Usuário Posicionamento Por Ponto Preciso*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <http://www.ibge.gov.br/espanhol/geociencias/geodesia/default.shtm>, 2009
- IBGE, *Recomendacoes para Levantamentos Relativos Estáticos-GPS*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <http://www.ibge.gov.br/espanhol/geociencias/geodesia/default.shtm>, 2008
- ICG International Committee on Global Navigation Satellite Systems, *Foro de debate sobre los sistemas mundiales de navegacion por satélite (GNSS) al servicio de la población de todo el mundo*, 2006
- IGN, *Disposición Marco POSGAR 07*, Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Defensa, <http://www.ign.gob.ar/AreaProfesional/Geodesia>, 2009
- IGN, *Adopción del Nuevo Marco de Referencia Geodésico Nacional*, Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Defensa, <http://www.ign.gob.ar/AreaProfesional/Geodesia> , 2009
- Kaniuth, k., Volksen, C., *Comparison of the BERNESE and GIPSY/OASIS II Software Systems Using EUREF Data*, 2005
- Jacobson, L. , *GNSS Markets and Applications*, Artech House, 2007
- Johnson, A., *Plane and Geodetic Surveying*, Spon Press, 2004

- Kaplan, E. , Hegarty, C., *Understanding GPS Principles and Applications*, Artech House, Second Edition, 2006
- Kassam, A., Hlasny, B., Vogt, V., Lochhead, K., Panther, G., Carter, M., *The Canada-Wide Differential GPS (CDGPS) Service: New Infrastructure Launched for GPS-based Geo-Referencing and Navigation*, ION GPS-02 Conference, Oregon, 2002
- Kouba, J., Héoooux, P., (2000), "GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbits Products", Geodetic Survey Division, Natural Resource, Canada, 2000
- Kouba, J., Popelar, J., *Modern Geodetic Reference Frames for Precise Satellite Positioning and Navigation*, Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, Natural Resources Canada, 1994
- Leandro, R., Santos, M., Langley, R., *GAPS: The GPS Analysis and Positioning Software – A Brief Overview*, IONS GNSS 20<sup>o</sup> International Technical Meeting of the Satellite Division, Fort Worth, Texas, 2007
- Leandro, R., Santos, M., Langley, R., *Analysing GNSS data in precise point positioning software*, Springer, 2010
- Lochhead, K., Kassam, A., Hare, R., LeBlanc, L., *CDGPS – Canada-wide DGPS Service: Quality Real Time GPS Positioning*, ION GPS-02 Conference, Oregon, 2002
- Mackern, V., Brunini, C., Moirano, J., Rodríguez, R., Lauría, E., *Hacia la Unificación de las Redes Geodésicas Argentinas*, XXI Reunión Científica AAGG, 2002
- Mackern Oberti, M., *Materialización de un Sistema de Referencia Geocéntrico de alta precisión mediante observaciones GPS*, Tesis Doctoral, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCa, 2003
- McGregor, S., Douglas, S., Kassam, A., *Towards Real-Time Access of The Canadian Spatial Reference System*, GIS99 GPS Precision Plenary Session, Vancouver, 1999.
- Mendoza, L., *Densificación del Marco de Referencia Terrestre ITRF y determinación de movimientos de la corteza en al Tierra del Fuego*, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, 2008
- Moirano, J., *Materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional en Argentina mediante observaciones GPS*, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, 2000
- Natural Resources Canada, *Geomatics Canada*, Geodetic Survey Division, GPS Positioning Guide, 1995
- NIMA, *Addendum to NIMA TR 8350.2: Implementation of the World Geodetic System (WGS 84) Reference Frame G1150*, 2002
- NIMA, *DEPARTMENT OF DEFENSE WORLD GEODETIC SYSTEM 1984 Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*, Tercera Edición, National Imagery and Mapping Agency, 2000
- Nylen, T., White, S., *Online Precise Point Positioning Using the Natural Resources Canada Canadian Spatial Reference System (CSRS-PPP)*, UNAVCO, 2007
- OVSTEDAL, O., Schipper, N., Omholt, J., *Surveying using GPS Precise Point Positioning*, XXIII FIG Congress, Munich, 2006
- Prasad, R. , Ruggieri, M., *Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems*, Artech House 2005

- Rodríguez, R., *Procesamiento GPS en línea*, Universidad de Morón, 2007
- Rothacher, M., *Basics of Data Processing, International Symposium on GPS*, Tsukuba, Japan, 1999
- Samana, N., *Global Positioning Technologies and Performance*, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2008
- Satirapod, C., Wong, K., Rizos, C., *A WEB-BASED AUTOMATED GPS PROCESSING SYSTEM*, 2º Trans Tasman Surveyors Conference, Queenstown, Nueva Zelandia, 2000
- Schaer, S., Gurthner, W., *IONEX: The IONosphere Map Exchange Format Version 1*, ESA/ESOC, 1998
- Schofield, W., Breach, M., *Engineering Surveying*, Sexta Edición, Elsevier, 2007
- Seeber, G., *Satellite Geodesy*, Walter de Gruyter, Second Edition, 2003
- Silva Altamirano, J., *GENERACION DEL MODELO MATEMATICO IONOSFERICO LOCAL, MEDIANTE MEDIDAS DE FALSA DISTANCIA A PARTIR DE ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO GPS*, Tesis de Grado, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador, 2009
- SIRGAS, *Guía para la instalación de estaciones SIRGAS-CON*, SIRGAS
- SIRGAS, *Procedimiento para inscribir una nueva estación en la red SIRGAS-CON*, SIRGAS
- SIRGAS, *Guía para la coordinación de la Red SIRGAS de Operación Continua (SIRGAS-CON)*, SIRGAS 2012
- Soycan, M., Ata, E., *Precise point positioning versus traditional solution for GNSS networks*, Scientific Research and Essays Vol. 6, 2011
- Taylor, G., Blewitt, G., *Intelligent Positioning GIS-GPS Unification*, John Wiley & Sons, 2006
- Tregoning, P. Rizos, C., *Dynamic Planet Monitoring and Understanding a Dynamic Planet with Geodetic and Oceanographic Tools*, IAG Symposium, Cairns, Australia, Fernando Sansò, Series Editor, Springer, 2005
- Witchayangkoon, B., *ELEMENTS OF GPS PRECISE POINT POSITIONING*, Tesis doctoral, Universidad de Maine, 1997
- Zumberge, J., *Automated GPs Data Analysis Service*, Jet Propulsion Laboratory, 1998

## **GLOSARIO**

### **A**

**AI** : Accuracy Improvement Initiative

**AS**: Anti Spoofing

**AFSC**: Air Force Space Command

**ARP**: Antenna Reference Point

### **B**

**BOC**: Binary Offset Carrier Modulation

**BPSK**: Binary Phase Shift Keying

**BIH**: Bureau International de l'Heure

**BTS**: BIH Terrestrial System

**BSW**: Bernese GPS Software

### **C**

**C/A**: Coarse/Adquisition

**CAI69**: Marco de referencia Campo Inchauspe '69

**CAP**: Central Andes Project.

**CCS**: Central Control System

**CDMA**: Code Division Multiple Access

**CEP**: Celestial Ephemeris Pole

**CGT**: Campo de Gravedad Terrestre.

**CHA**: Channel of High Accuracy

**CIO**: Conventional International Origin

**CNSS**: China's Compass Navigation Satellite System

**CODCHK**: Code check. Módulo del BSW que verifica la continuidad de las observaciones de código.

**CODE**: Center for Orbit Determination of Europe, Berna, Suiza.

**CODSPP**: Code single point positioning. Módulo del BSW que calcula posicionamiento puntual con códigos.

**CRC**: Cyclic Redundancy Check

**CS**: Control Segment (Segmento de control)

**CSA**: Channel of Standard Accuracy

**CSIC**: Coordination Scientific Information Center

**CRS**: Conventional Reference System

**CTRS**: Conventional Terrestrial Reference System

### **D**

**DoD**: Department of Defense

**DGFI**: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut.

**DGPS**: Differential GPS

**DOP**: Dilution of Precision

**DORIS**: Doppler Orbitography by Radiopositioning Integrated by Satellite.

### **E**

**EGNOS**: European Geostationary Navigation Overlay System

**ERP:** Earth Rotation Parameters

**ESA:** European Space Agency

## **F**

**FDMA:** Frecuency Division Multiple Access

**FOC:** Full Operational Capability

## **G**

**GAST:** Tiempo Sidéreo Aparente de Greenwich.

**GBAS:** Ground Based Augmentation System

**GCC:** Galileo Control Centres

**GCS:** Ground Control Segment

**GIOVE:** Galileo In Orbit Validation Element

**GJU:** Galileo Joint Undertaking

**GLONASS:** Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema

**GMS:** Galileo Mission Segment

**GNSS:** Global Navigation Satellite System

**GPS:** Global Positioning System

**GSS:** Galileo Sensor Station

**GST:** Galileo System Time

## **H**

**H:** altura geométrica

**h:** altura ortométrica

**HOW:** Handover Word

**HP:** High Precision

## **I**

**IAG:** International Association of Geodesy

**IAU:** International Astronomical Union

**ICD:** Interface Control Document

**ICRF:** International Celestial Reference Frame

**ICRS:** International Celestial Reference System

**IERS:** International Earth Rotation Service

**IGM:** Instituto Geográfico Militar argentino

**IGR:** Efemérides IGS rápidas

**IGS:** International GNSS Service

**IGU:** Efemérides IGS ultra-rápidas

**ILRS:** International LASER Ranging Service

**ILS:** International Latitude Service

**IOC:** Initial Operational Capability

**IPMS:** International Polar Motion Service

**ITRF:** International Terrestrial Reference Frame

**ITU:** International Telecommunication Union

**ITRS:** International Terrestrial Reference System

**IUGG:** International Union of Geodesy and Geophysics

**IVS:** International VLBI Service for Geodesy and Astrometry

## **J**

**JPO:** Joint Program Office

## **L**

**LAAS:** Local Area Augmentation System

**LAGEOS:** LASER GEODynamics Satellite

**LLR:** Lunar LASER Ranging

**LOD:** Length of Day. Variaciones de la longitud del día msa( milisegundos de arco)

## **M**

**MCS:** Master Control Station

**MFSAS:** Multi-functional Satellite Augmentation System

**MSB:** Most Significant Bit

## **N**

**N:** ondulación geoidal

**NAVSTAR:** Navigation System with Timing And Ranging

**NCF:** Navigation Control Facility

**NGA:** National Geospatial-Intelligence Agency

**NIMA:** National Imaginery and Mapping Agency

**NNR-NUVEL-1A:** No Net Rotation Northwestern University Velocity Model 1A

**NSCC:** Navigation System Control Centre

**NUVEL-1:** Northwestern University Velocity Model

**NTRIP:** Networked Transport of RTCM via Internet Protocol

## **O**

**OCS:** Operational Control Segment

**OS:** Open Service

**OSPF:** Orbitography and Synchronisation Processing Facility

**OSS:** Orbitography and Synchronisation Stations

## **P**

**Parsec:** Paralaje de un segundo de arco equivalente a una distancia de  $3.09 \times 10^{13}$  km.

**PCV:** Phase Center Variations

**PDOP:** Point Dilution of Precision

**PGA94: POSGAR'94:** Materialización del sistema POSGAR de 1994

**PGA98: POSGAR'98:** Materialización del sistema POSGAR de 1998, coincidente con SIRGAS'95 e ITRF94 para la época 1995.4

**POSGAR:** Posiciones Geodésicas Argentinas

**ppm:** partes por millón

**PPP:** Precise Point Positioning

**PPS:** Precise Positioning Service

**PRN:** Pseudo Random Noise

**PZ90:** sistema de referencia GLONASS

## **R**

**RF:** Radio Frequency

**RINEX:** Receiver INdependent EXchange format  
**RNSS:** RadioNavigation Satellite System  
**RTCM:** Radio Technical Commission for Maritime Services  
**RTK:** Real Time Kinematic

## **S**

**SA:** Selective Availability  
**SAD 69:** South American Datum 1969  
**SAGA:** South American Geodynamic Activities  
**SBAS:** Satellite Based Augmentation System  
**SCF:** Navigation Control Facility  
**SDMA:** Space Division Multiple Access  
**SIRGAS:** Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas  
**SoL:** Safety of Live Service  
**SLR:** Satellite LASER Ranging  
**SP:** Standard Precision  
**SPS:** Standard Positioning Service  
**SRC:** Sistema de Referencia Convencional  
**SRI:** Sistema de Referencia Ideal  
**SS:** Space Segment

## **T**

**TAI:** Tiempo Atómico Internacional  
**TCG:** Tiempo Coordinado Geocéntrico  
**TDMA:** Time Division Multiple Access  
**TOW:** Time Of Week  
**TT&C:** Telemetry Tracking and Control

## **U**

**UTC:** Universal Time Coordinated. Escala basada en el TAI pero que mantiene la duración del día solar medio mediante saltos de un segundo  
**UT0:** Tiempo universal calculado a partir de observaciones astronómicas en ausencia de información acerca de la posición del polo de rotación en el marco terrestre  
**UT1:** Resulta de corregir a UT0 por el movimiento del polo.

## **V**

**VDB:** VHF Data Broadcasting  
**VHF:** Very High Frequency  
**VLBI:** Very Long Baseline Interferometry  
**VRS:** Virtual Reference Station

## **W**

**WASS:** Wide Area Augmentation System  
**WRC:** World Radiocommunication Conference  
**WAAS:** Wide Area Augmentation System  
**WADGPS:** Wide Area Differential GPS  
**WGS 84:** World Geodetic System – 1984

**Z**

**ZTD:** Zenithal Troposferic Delay

.