

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN DDBASE DEL PROYECTO GPS TOOLKIT

N. Quesada Olmo, A. Martín Furones

Valencia, Abril de 2012

© Copyright: Nieves Quesada Olmo, Ángel Martín Furones
E-mail: niequeol@cgf.upv.es, aemartin@upvnet.upv.es

RECEPCIÓN: 02-11-2012
APROBACIÓN: XX-11-2012

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN DDBASE DEL PROYECTO GPS TOOLKIT

RESUMEN:

Este trabajo de investigación pretende realizar un exhaustivo estudio y análisis de los observables GNSS, dentro del marco de una la red de Estaciones de Referencia GNSS de Valencia (red ERVA). Para ello, este trabajo tiene como objeto desarrollar y validar la aplicación DDBase del proyecto GPS Toolkit, que es un potente recurso abierto desarrollado por los Laboratorios de Investigación Aplicada de la Universidad de Texas en Austin (ARL:UT).

Las conclusiones obtenidas serán el punto de arranque para la observación, densificación, estudio y análisis de una red microgeodésica ó local, concretamente la Red de Calibración de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Se propone para el ajuste gaussiano de la red de calibración el método de incrementos de coordenadas (publicado en [www.racv.es/racv digital](http://www.racv.es/racv_digital)), ya que éste resuelve el problema de las covarianzas a priori entre observables, tal y como sucede habitualmente con los observables GNSS.

PALABRAS CLAVE:

DDBASE, GPS TOOLKIT, REDES GNSS, ESTACIONES DE REFERENCIA, METODO GAUSS-MARCOV, MICROGEODESIA, AJUSTE MINIMO CUADRATICO.

ANALYSIS AND VALIDATION IN THE DDBASE APPLICATION WITHIN GPS TOOLKIT PROJECT

ABSTRACT:

This research tries to make an exhaustive study and analysis of GNSS observation data as a part of a GNSS reference stations network of Valencia (ERVA network).

This paper has got as goal, to develop and validate the DDBase application, provided within GPS Toolkit project, which is an advanced GNSS open source software initiated by the Applied Research Laboratories of the University of Texas (ARL:UT).

The conclusions will be the starting point of observation, densification, study and analysis of a local or micro geodetic net, in particular the calibration network of the Polytechnic University of Valencia (UPV).

It is proposed for calibration network Gaussian adjustments the “coordinate increases” method (published in www.racv.es/racv digital), because it solves the problem of a priori covariance between observation data, as usually happens with the GNSS ones.

KEYWORDS:

DDBASE, GPS TOOLKIT, GNSS AND LOCAL NETWORK, GAUSS-MARCOV METHOD, MICROGEODESY, LEAST SQUARES ADJUSTMENT.

INDICE

CAPÍTULO 1. EL PROYECTO GPS Toolkit	Pág.8
1.1. ENTORNO DE TRABAJO: SISTEMA OPERATIVO UNIX	Pág.8
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO GPS Toolkit	Pág.9
1.2.1. <i>Introducción</i>	Pág.9
1.2.2. <i>La librería de GPSTk</i>	Pág.10
1.2.3. <i>Las aplicaciones de GPSTk</i>	Pág.14
1.3.- MEJORA DE EQUIPAMIENTO EN LA LIBRERÍA PARA RINEX 3.00	Pág.20
1.3.1. <i>Hora del sistema</i>	Pág.21
1.3.2. <i>Sistema de coordenadas</i>	Pág.21
1.3.3. <i>Almacenamiento y acceso de datos</i>	Pág.22
1.3.4. <i>Datos de Navegación</i>	Pág.22
1.3.5. <i>Datos de Observación</i>	Pág.23
1.4.- FUTURO DEL PROYECTO GPSTk	Pág.24
CAPÍTULO 2.- LA APLICACIÓN DDBASE DE GPSTk	Pág.25
2.1. VISIÓN GENERAL DE DDBASE.....	Pág.25
2.2. PRELIMINARES DE GPS.....	Pág.25
2.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE DDBASE.....	Pág.30
2.4. UTILIZACIÓN DE DDBASE.....	Pág.32
2.4.1. <i>Instalación de DDBase</i>	Pág.32
2.4.2. <i>Funcionamiento de DDBase</i>	Pág.32
2.4.3. <i>Fichero de información y resultados *.log</i>	Pág.34
CAPÍTULO 3.- DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DDBASE	Pág.46
3.1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	Pág.46

3.1.1. <i>Requisitos de las estaciones permanentes</i>	Pág.47
3.1.2. <i>Estaciones permanentes utilizadas</i>	Pág.48
3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO	Pág.51
3.2.1. <i>Red ERVA</i>	Pág.51
3.3. RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS.....	Pág.63
3.3.1. <i>Obtención de residuos de Dobles Diferencias</i>	Pág.63
3.3.2. <i>Obtención de gráficas de los residuos de Dobles Diferencias</i>	Pág.68
3.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	Pág.76
3.4.1. <i>Análisis y gráficas de los residuos de Dobles Diferencias</i>	Pág.79
3.4.2. <i>Gráficas de los residuos de Dobles Diferencias.Red ERVA</i>	Pág.84

CAPÍTULO 4.- DESARROLLO DE DDBASE EN UNA RED LOCAL DE EJES

CORTOS. AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE INCREMENTOS DE

COORDENADAS Pág.100

4.1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

4.1.1. *Localización de la Red de lados cortos*.....

4.1.2. *Monumentación, materiales y características constructivas*

4.2. TEORÍA SOBRE EL AJUSTE GAUSSIANO POR INCREMENTOS DE

COORDENADAS

4.2.1. *Sobre la geometría de las posibles soluciones en el ajuste Gauss-Marcov de una red local*

4.2.2. *Las covarianzas a priori en las matrices de diseño de observables*

4.2.3. *Caso de observables GNSS y relacionados con ellos*

4.2.4. *Teoría y praxis de ajuste por incrementos de coordenadas: una solución rigurosa*

4.2.5. *Posibles soluciones aproximadas*

CAPÍTULO 4.- DESARROLLO DE DDBASE EN UNA RED LOCAL DE EJES**CORTOS. AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE INCREMENTOS DE****COORDENADAS Pág.100***4.2.6. Síntesis y conclusión Pág.125***4.3. PROCESAMIENTO DE LOS VECTORES GNSS DE LA RED LOCAL CON LA APLICACIÓN DDBASE..... Pág.129***4.3.1. Obtención de los residuos de las dobles diferencias de las líneas base de la red local Pág.139**4.3.2. Gráficas de los residuos de las dobles diferencias de las líneas base de la red local Pág.146**4.3.3. Obtención de los saltos de ciclo de los vértices de la red local Pág.149**4.3.4. Gráficas de los saltos de ciclo de los vértices de la red local Pág.156***4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Pág.160***4.4.1. Análisis de las gráficas de los residuos de dobles diferencias Pág.160**4.4.2. Análisis de las gráficas de los saltos de ciclo..... Pág.166***4.5. APLICACIÓN DEL MÉTODOS DE INCREMENTOS DE COORDENADAS EN LA RED GNSS LOCAL DE LADOS CORTOS Pág.171***4.5.1. Cálculo de incrementos de coordenadas a partir de los vectores GNSS. Test de Pearson Pág.172**4.5.2. Cálculo de coordenadas aproximadas Pág.176**4.5.3. Formas lineales específicas de los incrementos de coordenadas..... Pág.176**4.5.4. Poderación de observables Pág.181**4.5.5. Síntesis y resultados del ajuste de la red GNSS por el método de incrementos de coordenadas Pág.185***4.6. CONCLUSIONES Pág.200***4.6.1. El observable de peso unidad. Cumplimiento del test Fisher-Snedecor Pág.200*

4.6.2. <i>La precaución de homogeneizar los pesos</i>	Pág.203
4.6.3. <i>Síntesis final</i>	Pág.205
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES	Pág.207
5.1. EN TORNO A LA APLICACIÓN DDBase DEL PROYECTO GPSToolkit EN UNA RED DE LINEAS BASE LARGAS.....	Pág.207
5.1.1. <i>A cerca de los residuos de dobles diferencias</i>	Pág.212
5.2. LA APLICACIÓN DDBase DEL PROYECTO GPSToolkit EN UNA RED DE LINEAS BASE CORTAS.....	Pág.216
5.2.1. <i>A cerca de los residuos de dobles diferencias</i>	Pág.217
5.2.2. <i>Respecto de lo saltos de ciclo y pérdida de señal</i>	Pág.219
5.2.3. <i>En relación al ajuste de la red local por el método de incrementos de coordenadas</i>	Pág.222
BIBLIOGRAFÍA	Pág.228
ANEXOS	Pág.234
ANEXO 1. RELACIÓN DE COMANDOS DE LA APLICACIÓN DDBASE.....	Pág.235
ANEXO 2. ESTACIONES DE REFERENCIA RED ERVA	Pág.252
ANEXO 3. RESIDUOS DOBLES DIFERENCIAS RED ERVA. GRÁFICAS.....	Pág.262
ANEXO 4. MANEJO DE GRÁFICAS CON GNUPLOT	Pág.393

CAPÍTULO 1. EL PROYECTO GPS TOOLKIT

1.1.- ENTORNO DE TRABAJO: SISTEMA OPERATIVO UNIX/LINUX

Linux es un sistema operativo gratuito y de libre distribución inspirado en el sistema operativo Unix. La idea de su creación surgió del estudiante finlandés Linus Torvalds cuando modificaba Minix, una versión de Unix con limitadas funcionalidades. Linus pidió ideas y colaboración a otros desarrolladores en un foro de Internet y el proyecto ha terminado aglutinando a miles de programadores de todo el mundo que todavía hoy siguen desarrollando Linux para hacer de él un sistema operativo mejor.

Linux hereda las principales ventajas de Unix: portabilidad a múltiples plataformas (desde Pc's y Mac's a estaciones de trabajo y superordenadores), flexibilidad a todos los niveles y una altísima configurabilidad; sin olvidarnos de la multitarea, multiusuario, gran capacidad para la gestión de redes, soporte de varios sistemas de ficheros y un largo etcétera. Sin embargo, no está pensado para ser fácil de usar por lo que todavía hoy, y a pesar de los grandes esfuerzos realizados en esta dirección, existen muchos usuarios reacios a considerarlo una alternativa real a Windows.

Linux cuenta con una amplia colección de programas y utilidades que lo acompañan: entorno gráfico X Window (compuesto de dos partes: el servidor X y el programa para la gestión de las ventanas), procesadores de texto como el Vi, compiladores para varios lenguajes de programación (C, C++, Ada, Fortran, etc...), entre otros.

El núcleo de Linux, al igual que la mayoría del software que lo complementa está amparado bajo los términos de la denominada GNU General Public License (GPL). Esta licencia permite básicamente al usuario final de un programa el poder usar, compartir, copiar y modificar con toda libertad el software que se acoge a esta licencia con ciertas restricciones. Algunas partes de este núcleo y otros programas que lo acompañan son propiedad de sus autores, con lo que Linux no es shareware ni freeware como se podría

llegar a pensar. La actual versión es la 2.6 (publicada en diciembre del 2003) y su desarrollo continúa.

El primer concepto a conocer de Linux es el de distribución. Una distribución es un agrupamiento del núcleo del sistema operativo Linux y otra serie de aplicaciones de uso general o no tan general. En principio las empresas que desarrollan las distribuciones de Linux están en su derecho al cobrar una cierta cantidad por el software que ofrecen, aunque en la mayor parte de las ocasiones se pueden conseguir desde Internet, de revistas o de amigos, siendo todas estas formas gratuitas y legales.

Las distribuciones más conocidas son RedHat, Debian, Slackware, SuSE, Knoppix y Mandrake. Para este trabajo se ha trabajado bajo la distribución Ubuntu, basada en Debian, y con el gestor de ventanas GNOME (GNU Network Object Model Environment).

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO GPS TOOLKIT

1.2.1. INTRODUCCIÓN

Los Laboratorios de Investigación Aplicada (Applied Research Laboratories, ARL) de la Universidad de Texas en Austin (ARL: UT) han establecido el proyecto de un software de código abierto denominado GPS Toolkit o GPSTk. El proyecto GPSTk proporciona una librería principal ó núcleo y una colección de aplicaciones definidas como apoyo a la investigación, análisis y desarrollo del GPS. El código es liberado bajo los términos de Lesser GNU Public License (LGPL), ésta otorga al usuario una serie de derechos, en particular la capacidad de elegir si desea modificar y redistribuir el código fuente.

El código GPSTk está escrito en ANSI C ++ que es una plataforma independiente y ha sido instalado y probado con éxito en Linux, Solaris y Windows.

1.2.2. LA LIBRERÍA DE GPSTK

El proyecto GPSTk consiste en una librería central, unas librerías auxiliares y una serie de aplicaciones algunas de las cuales se utilizan para testear o comprobar partes de la librería. La librería central contiene las funciones necesarias para leer, procesar y escribir datos GPS. Estos programas de testeo o de pruebas proporcionan tanto una prueba de validación de la instalación como un ejemplo de utilización de la librería en programas independientes.

1.2.2.1. FUNCIONALIDAD

La librería GPSTk ofrece una amplia gama de funcionalidades, incluyendo entre otras:

- La entrada/salida RINEX.
- Manejo de efemérides (de navegación/RINEX o SP3).
- Conversiones de tiempo y fechas.
- Algoritmos de matrices y vectores.
- Algoritmos matemáticos y estadísticos.
- Modelado troposférico e ionosférico.
- Posicionamiento y RAIM (Receiver-Autonomous Integrity Monitoring)

Es fundamental esta librería para la lectura y la escritura de archivos de datos en formato RINEX. De manera que son soportadas las especificaciones de la versión 2.1 y 2.2 de formatos RINEX (R2), y también incluye la capacidad de definir nuevos formatos de observación RINEX extendidos que son útiles para almacenar resultados y datos adicionales. Actualmente, debido a las últimas mejoras de esta librería, se puede realizar la lectura de formatos RINEX versión 3 (R3), tal y como se explicará más adelante.¹

La librería ofrece el almacenamiento completo de las efemérides mediante un fichero en formato SP3 (efemérides precisas) ó en formato RINEX (efemérides de navegación).

¹ Cfr. Epígrafe 1. 3. Mejoras de equipamiento de la librería GPSTk

Todos los detalles del manejo de éstas se producen mediante el encapsulamiento de las clases destinadas al almacenamiento de efemérides y sólo requiere la entrada del nombre del archivo para cargar las efemérides aplicándose entonces los algoritmos de cálculo estándar, como el cálculo de la posición del satélite definido en la ICD-GPS-200². Los objetos de almacenamiento de efemérides se diseñan utilizando los métodos orientados a objetos (herencia y polimorfismo) de manera que el usuario puede cambiar fácilmente entre el uso de efemérides de navegación ó efemérides precisas.

Otro aspecto fundamental en GPS es todo lo concerniente a las fechas y las horas. En GPSTk la clase “DayTime” implementa varios formatos útiles para las fechas y el tiempo GPS en un solo objeto muy poderoso. Estos formatos incluyen el Día Juliano Modificado (MJD), la hora y las fechas del calendario GPS. También hay cadenas de texto basadas en rutinas que permiten dar formato a las etiquetas de tiempo, así como la propia interpretación de la cadena de texto.

La librería GPSTk incluye un paquete de matrices y vectores construido en su totalidad para la utilización de plantillas. El paquete incluye los operadores aritméticos habituales, la inversión de matrices, así como la descomposición LU, del valor singular y la descomposición de Cholesky. La librería incorpora algoritmos estadísticos, ajuste de polinomios e interpolación de Lagrange.

Existen varios modelos para la troposfera que se proporcionan en la librería GPSTk. En su diseño también se utilizan los métodos orientados a objetos: herencia y polimorfismo, de la misma manera que en el almacenamiento de efemérides, para que el usuario pueda realizar un intercambio entre los diversos modelos ó crear uno nuevo. Actualmente hay cinco modelos implementados, que incluyen el modelo de Hopfield³ y el modelo de New

² IDC-GPS-200 <http://www.navcen.uscgov/pubs/gps/icd200/>

³ HOPFIELD, H. S. “Tropospheric Effect on Electromagnetically Measured Range: Prediction from Surface Weather Data.” Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University. Baltimore, MD, July 1970.

Brunswick UNB⁴.

Las funciones relativas al posicionamiento y la navegación GNSS es una parte de la librería que está creciendo sustancialmente, pero en la actualidad se limita a las soluciones autónomas de pseudodistancia utilizando tanto la solución algebraica como la solución de mínimos cuadrados. También incluye el algoritmo de posicionamiento RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring).

1.2.2.2. DISEÑO

Todo el código fuente para GPSTk es altamente portable⁵ en ANSI C++ que hace uso extensivo de la plantilla de la librería estándar (STL) y en la programación orientada a objetos (POO)⁶. Las aplicaciones de la librería, con una excepción, son tanto en línea de comandos como gráficas. Estas opciones de diseño hacen que el código sea una multiplataforma independiente. La aplicación GPSTk se ha instalado y probado en Linux (GCC), Solaris (Forte y GCC), y Windows (Visual Studio. NET 2003 y Cygwin / GCC).

Toda la documentación de diseño del código GPSTk se incluye en doxygen⁷, (DOCUMENT, GENERator), que es un paquete que se puede disponer libremente y se encuentra bajo la

4 COLLINS, J. P. and LANGLEY, R. B. "A Tropospheric Delay Model for the User of the Wide Area Augmentation System.", Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Technical Report No. 187, September 1997.

⁵ Un lenguaje portable es aquel que permite escribir programas de forma que se pueden ejecutar en un ordenador o sistema operativo distinto a aquel en el que se crearon.

⁶ La programación orientada a objetos (POO) pretende llevar a la programación la filosofía de los objetos de la vida cotidiana: la idea es que para interactuar con unos datos debemos hacerlo a través de unas funciones concretas creadas para tal fin. El programador implementa objetos, o simplemente los usa, o aprovecha parte de su comportamiento. En POO para usar un objeto no es necesario conocer cómo está implementado, sólo debemos utilizar los métodos que nos ofrece, de manera que los objetos son como cajas negras a cuyas propiedades sólo se puede acceder a través de una característica que se llama encapsulación.

En POO un objeto tiene, básicamente, atributos y métodos. Para definir un objeto se hará siempre a partir de una clase definida por sus atributos (son simples variables) y métodos (son funciones que trabajan con los atributos).

⁷ <http://www.doxygen.org/> Este programa es capaz de generar una completa documentación de apoyo de cualquier desarrollo de software a partir de comentarios colocados en el mismo código fuente. Soporta una gran cantidad de lenguajes de programación.

Para que los comentarios sean interpretados correctamente por Doxygen deben seguir una especificación de formato concreta; los comentarios de código que no sigan este patrón serán obviados en la generación de los documentos.

Doxygen es altamente configurable, permitiendo generar una documentación a medida que contenga aquellas características que deseamos. Se puede configurar para extraer la estructura del código, lo que es muy útil para

licencia GPL., generando un documento HTML basado en el conjunto de aplicaciones del código GPSTk.

Para simplificar la construcción del GPSTk se utiliza *jam* una plataforma independiente, de disponibilidad gratuita, que representa una alternativa más fácil de manejar que *make*. *Jam*⁸ proporciona los comandos necesarios para compilar, instalar y probar el código fuente distribuido en varios directorios.

La secuencia de construcción⁹ es la siguiente:

```
tar xvzf gpstk-1.0.tar.gz
cd gpstk
jam
doxygen
su
jam -sPREFIX=/usr install
```

De esta manera se instalan las bibliotecas GPSTk de forma dinámica y compartida, así como los archivos de cabecera en */usr*. Además, se crea un subdirectorio *doc* que contiene un documentación en formato HTML de las librerías GPSTk.

1.2.2.3. PRINCIPIOS DE DISEÑO

El primer objetivo del proyecto GPSTk es proporcionar un código modular, comprensible, extensible y de fácil mantenimiento y modificación. Por estas razones, GPSTk se ciñe a las técnicas de Análisis y Diseño Orientado a Objetos (OOA / D), en contraste con el procedimiento de diseño en los lenguajes C, FORTRAN y MATLAB. En la programación orientada a objetos (POO) se ha de proporcionar una "clase librería". Cada una de las clases es un módulo independiente al que puede recurrir el usuario como un objeto ó ampliarlo en forma de una nueva clase. Éstas se pueden construir mediante una

ver la distribución del código. También permite visualizar las relaciones entre varios elementos mediante gráficas que incluyen dependencia, diagramas inherentes, y diagramas de colaboración. Doxygen permite un amplio abanico de formatos finales para la documentación: HTML, Latex, RTF, PDF, páginas man, postscript y XML.

⁸ <http://www.perforce.com/jam/jam.html/>

⁹ Brian W. TOLMAN and Ben HARRIS. "The GPS Toolkit". September 2004. Linus Journal. Issue #125.

serie de características de la programación como son la herencia y el polimorfismo, tal y como hemos explicado anteriormente. La librería de la aplicación GPSTk depende en gran medida la STL¹⁰ (librería estándar) que forma parte de ANSI¹¹ para C + +. Dicha librería proporciona las estructuras de objetos y éstos incluyen vínculos a listas, vectores y operaciones estándar, tales como el algoritmo de ordenación rápida.

1.2.2.4. SOPORTE PARA OTROS LENGUAJES

Es posible proporcionar enlaces a prácticamente cualquier otro lenguaje de programación debido a que GPSTk está escrito en estándar ANSI de C + +. Además en la distribución de la aplicación GPSTk se incluyen enlaces a Octave, que es una alternativa de código abierto a MATLAB.

1.2.3. LAS APLICACIONES DE GPSTK

El proyecto GPSTk incluye varios programas de aplicación. Cuando el programa es descomprimido, las aplicaciones se encuentran en el subdirectorio *gpstk/apps*. Estos programas hacen uso de la librería para leer, procesar, escribir, y visualizar los datos GPS, todo ello se realiza mediante archivos en formato RINEX, con alguna excepción. Estos programas sirven tanto para mostrar importantes utilidades como para ejemplos detallados de programación con librería de GPSTk.

Estas aplicaciones incluyen utilidades para resumir y editar archivos RINEX, para generar errores residuales y correcciones a datos observados, para encontrar y hacer una estimación de las pérdidas de ciclo en la fase de la portadora y para ajustar un modelo simple de la ionosfera. La única aplicación de línea de comandos es un menú de interfaz

¹⁰ STL (Standard Template Library). <http://www.sgi.com/tech/stl/>

¹¹ American National Standards Institute. En los años ochenta, tanto de UNIX como del lenguaje de programación C después de haber ganado mucha popularidad, existen numerosas versiones y usuarios, de modo que ANSI establece un comité con el objeto de normalizar este lenguaje y así un programa diseñado en ANSI C pudiera ser portable a otras plataformas.

gráfico para estas utilidades RINEX que permiten al usuario ver e interactuar con dibujos 2D de datos RINEX, incluso los errores residuales y las correcciones generados a partir de los datos observados.

1.2.3.1. UTILIDADES RINEX

La aplicación GPSTk incluye bajo el directorio *apps/Rinextools* , cuatro programas útiles para la manipulación de datos RINEX. Estos programas son *RinSum*, *RinexDump*, *EditRinex* y *ResCor*.

- *RinSum* resume el contenido del fichero de observación RINEX. Este resumen incluye la información de la cabecera así como un cuadro del número y límites de tiempo de observaciones frente satélite.
- *RinexDump* simplemente vuelca una parte seleccionada de los datos de observación de un fichero RINEX a un archivo plano de salida, con los datos organizados en columnas. Este programa es muy útil para el suministro de datos a otros programas. Un ejemplo sería una hoja de cálculo o un programa de trazado tal como *gnuplot*,¹² en un formato simple.
- *EditRinex* va a leer un archivo de observación RINEX, editará su contenido, y escribirá el resultado en otro archivo RINEX. La edición puede incluir cada uno de los ficheros de cabecera, añadir comentarios, eliminar individualmente los satélites o tipos de observación, creación de nuevos tipos de observación, tiempo de ventanas, escritura en varios archivos, personalización de datos, configuración de los datos, LLI, y más.

El diseño del programa de edición es muy sencillo. Básicamente, sólo se lee la línea de comandos incluyendo el nombre del archivo de entrada y envía esa información a un objeto llamado *RINEXEditor*. Éste hace todo el trabajo.

¹² BLEWITT, G., "An Automatic Editing Algorithm for GPS Data." *Geophysical Research Letters* 17. 3 (1990):199-202.

- *ResCor* lee un archivo de observación RINEX (y posiblemente los datos de las efemérides y la posición del receptor) y calcula alguno de los errores residuales o correcciones de los datos. *ResCor* puede generar el modelo de la ionosfera, TEC¹³, los datos de elevación y azimut y combinación de banda ancha.

ResCor define un objeto que hereda de la clase “RINEX Editor” y añade la función para calcular los valores de cantidades predeterminadas y almacenarlas en el objeto recién creado antes de escribirlo en el fichero de salida. Por lo tanto, *ResCor* es capaz de hacer automáticamente todo lo que puede hacer *EditRinex*, a través de la herencia.

ResCor escribe sus resultados en un archivo en formato RINEX, haciendo uso de la función de GPSTk “extended RINEX”, en la que el “tipo de observación” de la salida puede ser definida a medida de la cantidad, en lugar de un tipo de fichero RINEX estándar.

Habitualmente ARL: UT utiliza un script que ejecuta *RinSum*, que es un corrector de discontinuidad del proyecto GPSTk y *ResCor* para limpiar, chequear la calidad y desbastar una gran cantidad de datos RINEX observados, y es entonces cuando calcula el TEC ionosférico para utilizarlo en los modelos de la ionosfera.

1.2.3.2. PÉRDIDAS DE CICLO (CYCLES LIPS)

Un problema importante en el procesamiento de datos GPS implica a las discontinuidades en la fase portadora. El proyecto GPSTk implementa la detección de la discontinuidad de la fase y el algoritmo de corrección basado en los trabajos de Blewitt

¹³ TEC (Total Electron Content) es el contenido total de electrones a lo largo del camino recorrido por la señal entre el satélite y el receptor.

(1990)¹⁴. Este algoritmo trabaja formando 2 combinaciones lineales: la combinación de banda ancha y libre ionosférica para pseudodistancia y fase, para encontrar la pérdida de ciclo y estimar su magnitud.

Este algoritmo se implementa como una función individual que puede ser llamada desde el interior del programa. Se define un objeto “*satellite pass*”, utilizado como entrada de datos y el cual se ha llenado de datos de doble frecuencia y fase. El algoritmo detecta y estima, y también opcionalmente repara, pérdidas de ciclo en la fase de las frecuencias L1 y L2; también existe la opción de desbastado de fase. La salida del algoritmo son los datos de corrección de fase que pueden ser escritos en un nuevo archivo RINEX, o bien un conjunto de comandos de edición que pueden pasar al programa *EditRinex*.

El directorio *apps/cycleslips* contiene tanto el corrector GPSTk de discontinuidad (DC) y un programa piloto *DiscFix*, que se utiliza para procesar archivos de observación RINEX, que es un sencillo programa que lee las opciones desde la línea de comandos, lee los archivos de entrada dentro del objeto “*satellite pass*” y luego llama a DC para cada uno.

DiscFix escribirá los datos corregidos en un archivo RINEX de salida, o mediante los comandos de edición pueden ser utilizados como entrada en *EditRinex*, que leerá el archivo original de entrada, corregirá las pérdidas de ciclo y escribirá el resultado en un nuevo archivo RINEX.

1.2.3.3. RINEXPLOT

RinexPlot, que se encuentra en el directorio *apps/RinexPlot*, es un interfaz gráfico a base de menús para los programas de utilidad RINEX que se han descrito con anterioridad *RinSum*, *RinexDump* y *ResCor*. Éste hace uso de *RinexDump* para poner los datos en un archivo plano, leerlo y lo muestra los datos seleccionados un gráfico de dispersión en 2D. Se

¹⁴ BLEWITT, G., "An Automatic Editing Algorithm for GPS Data." *Geophysical Research Letters* 17. 3 (1990):199-202.

dibujará cualquiera de los datos que se encuentran en el archivo RINEX de entrada, y puede mostrar los datos de salida de *RinSum* en una ventana. También se permite al usuario crear nuevos tipos de observación con *ResCor*, y luego mostrarlos. Mediante el ratón, el usuario puede ver las coordenadas de cualquier punto, además de seleccionar un rectángulo en la superficie del dibujo para hacer un zoom sobre él.

La configuración del programa en cualquier momento permite almacenar un archivo, que puede volverse a cargar en otro momento, o ser usado en la línea de comandos para reproducir el gráfico en otro momento posterior.

1.2.3.4. ANÁLISIS DE LOS ERRORES RESIDUALES

La utilidad *reszilla* que se encuentra en el subdirectorio *apps/reszilla*. Ésta, para un solo receptor, puede generar la diferencia entre la pseudodistancia esperada y la pseudodistancia medida, conocida como distancia residual o desviación de la distancia observada, ORD (observed range deviation). La pseudodistancia esperada se calcula utilizando la posición conocida de las estaciones así como las efemérides de navegación o precisas. Estas diferencias son resumidas estadísticamente, pero también podrán ser impresas en un fichero de salida que será analizado por programas de análisis numérico. La utilidad *reszilla* también puede formular dobles diferencias con dos receptores en una línea base cero, en este caso se generan similares informes estadísticos y ficheros de salida. *Reszilla* puede ser utilizado para investigar a cerca de cualquier fenómeno numérico.

1.2.3.5. MODELADO DE LA IONOSFERA

Otra de las aplicaciones importantes de GPSTk implica el procesamiento de datos GPS para la observación de la ionosfera. Los receptores GPS pueden medir el contenido total de electrones en la ionosfera (TEC) a través del retardo de propagación introducido en la señal GPS mediante los electrones libres a lo largo del camino de ésta. El TEC es de hecho

proporcional a la corrección para el retardo ionosférico. Sin embargo, esta medida es errónea debido a los retardos del hardware, tanto en el receptor como en el satélite. Estos errores pueden ser estimados a partir de los datos de TEC obtenidos durante la noche, cuando el contenido total de electrones en la ionosfera es casi cero.

El directorio *apps/ionosphere* de GPSTk contiene los programas que pueden utilizarse para estimar tanto los errores en la medida del TEC como un modelo simple para el contenido total de electrones (TEC) de la ionosfera a partir de datos GPS. El primer paso es pre-procesamiento de los datos las observaciones en formato RINEX mediante la aplicación *Rescor* para producir los archivos en formato RINEX que contienen el retardo ionosférico, la latitud y longitud del “punto de perforación”(“pierce point”), que es por donde pasa la señal a través de la ionosfera, y la elevación y azimut del satélite. Entonces simultáneamente el programa *IonoBias*¹⁵ lee estos archivos preprocesados, usando las efemérides solares para limitar la duración de la noche. A continuación, éste aplica todos los datos del contenido total de electrones ajustado por mínimos cuadrados tanto a un modelo simple del contenido total de electrones (TEC) de la ionosfera durante la noche como a todos los errores "satélite + receptor”.

El programa *TECMaps* lee el mismo fichero RINEX pre-procesado, así como los errores que han sido estimados "satélite + receptor” y en cada época utiliza estos datos para estimar el retardo ionosférico del TEC sobre cada punto de un plano horizontal. El resultado se envía a un archivo para cada época, éste se puede mostrar como un gráfico de superficie ya sea en MATLAB o en *gnuplot*.

1.2.3.6. VINCULACIÓN A OCTAVE

Además de todas las ventajas que el proyecto GPSTk presenta a los usuarios de C++, tiene la posibilidad de poder utilizar todos los algoritmos de GPSTk desde MATLAB, Java,

¹⁵ IonoBias fue desarrollado originalmente por el Dr. David Coco con ARL: UT.

Perl, C, FORTRAN o cualquier otro lenguaje de programación. Con el fin de facilitar el acceso a este proyecto es necesario escribir nuevas funciones, y éstas a menudo hacen referencia a enlaces. Un ejemplo de estos enlaces es el lenguaje de Octave que se suministra con el proyecto GPST, en el directorio *apps/octave*. Octave¹⁶ es un recurso abierto para cálculo algebraico muy similar a MATLAB. Esta función puede leer un archivo de observación RINEX y convertirlo en una matriz.

1.3.- MEJORA DE EQUIPAMIENTO EN LA LIBRERÍA PARA RINEX 3.00

En los últimos dos años, se han presentado muchas modificaciones aunque pocas de ellas han cambiado el interfaz de las clases existentes. La mayoría de los cambios son las nuevas clases para mejorar capacidades. El soporte para la versión RINEX-3 está disponible a través de una nueva rama de funciones de la librería.

Los cambios sustanciales entre RINEX versión 3.00 (R3) y RINEX versión 2 (R2), determinó la necesidad de considerar varias formas de actualización para poder ser implantado.

Las consideraciones de diseño más importantes para discriminar ventajas y desventajas entre las opciones eran las siguientes:

- Total y sencilla compatibilidad con formatos anteriores.
- Facilidad de chequeo
- Mínimas modificaciones necesarias en el resto del conjunto de herramientas para

poder integrar las nuevas características.

Finalmente se optó por crear un conjunto de clases R3 independientes con distintos nombres, simultáneamente dentro de la rama de GPSTk. Esta elección permite la

¹⁶ Octave project home page, <http://www.octave.org/>

compatibilidad hacia atrás, esto es con los formatos R2, y también separar las versiones conocidas mediante la comparación de R3 contra R2.

1.3.1. HORA DEL SISTEMA

El proyecto original GPS Toolkit asume que todos los tiempos que se utilizan se encuentran en el sistema de tiempo GPS. Como esto no es totalmente cierto en GNSS se añade una estructura de datos “Time System” (TS) para llevar a cabo un seguimiento respecto a qué marco de tiempo la época ha sido presentada en la actualidad. El formato estándar R3 especifica que la época de los datos para un determinado GNSS deben ser dados en la misma hora del sistema nativo GNSS. Como resultado, el GPSTk ha sido diseñado para codificar de forma automática la estructura de datos “Time System” (TS) junto con las observaciones.

1.3.2. SISTEMA DE COORDENADAS

En el mismo sentido, cada GNSS realiza su propio Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) como sistema de coordenadas. En este caso GPS utiliza WGS84 (G1150), mientras que GLONASS tiene PZ-90 y Galileo utilizará el Marco de Referencia Terrestre Galileo (GTRF). Japón usará JGS, que difiere del Marco de Referencia de Galileo (GTRF) en menos de 2 cm. Las discrepancias entre los diferentes sistemas varían de unos a otros, pero el acuerdo general tiene como objetivo que sean menores de 2cm en un futuro próximo.

El proyecto GPSTk ha añadido un soporte para marcos de referencia estándar, así como la capacidad para transformar los datos entre marcos de referencia a través de una transformación Helmert¹⁷, definida por:

$$X_A = a + \mu R X_B$$

¹⁷ Bernard HOFMANN-WELLENHOF, Herbert LICHTENEGGER, and Elmar WASLE. “GNSS - Global Navigation Satellite Systems”. SpringerWien, 2008.

en la cual X denota un vector de posición

A y B son los marcos de referencia, μ es un factor de escala y a es una compensación o error.

1.3.3. ALMACENAMIENTO Y ACCESO DE DATOS

Solamente hay 3 tipos de datos en formato R3 que pueden ser almacenados y se permite el acceso a ellos, éstos son: de observación, de navegación y meteorológicos

Este almacenamiento y acceso de datos debe ser eficaz. La implementación actual aborda para la manipulación del formato R2 mediante la técnica de "mapa de mapas" (MoM)¹⁸. En este enfoque, los datos actuales se almacenan en las instancias de una clase, que se convierten en valores en un mapa codificado por la época (tiempo). Las instancias de ese mapa se almacenan como valores en otro mapa, éste codificado por la identificación del satélite. La ventaja de este enfoque estriba en que crea una base de datos pobre, que es fácilmente accesible mediante la etiqueta más identificable, el tiempo. Para el formato R3 se opta por el diseño MoM, debido a que cada GNSS tiene su propia MoM, que pertenece a su clase de almacenamiento. Y una nueva clase específica para la lectura del formato R3 contiene una instancia para cada uno de los posibles MoM del GNSS e inserta nuevos datos en el MoM apropiado para la lectura.

Las consultas entonces pueden ser dirigidas a un GNSS específico, o explorar todos los MoM, según las necesidades del usuario.

1.3.4. DATOS DE NAVEGACIÓN

La versión R3 ha ampliado el tipo de datos emitidos que se pueden incluir en los mensajes de navegación GNSS en general. Estos formatos pueden ser muy diferentes. Por ejemplo, el formato de difusión de las efemérides de Galileo es similar al formato de GPS.

¹⁸ Bjarne STROUSTRUP. "The C++ Programming Language". Addison-Wesley, 2000.

Sin embargo, las constelaciones GLONASS, QZSS y el sistema de augmentación utilizan otro formato bastante similar entre ellos.

Se requiere una reestructuración importante de las clases de procesamiento de efemérides para ser capaz de manejar el formato RINEX estándar, aunque actualmente solo se incluye GLONASS.

La clase de almacenamiento de datos se divide en dos ramas. Una de ellas es la clase matriz de todos los tipos tabulares, GLONASS y QZSS, mientras que la otra clase es para aquellos que emiten los datos en elementos orbitales, GPS y GALILEO.

Cabe señalar que las efemérides precisas SP3 se presentan en formato tabular. Por lo tanto, las clases SP3 siguen siendo una subclase de *TabularEphemericsStore*. Además se permite mantener la clase R2 en su lugar con visible compatibilidad hacia atrás, de manera que los usuarios de la versión R2 no tendrán que cambiar sus actuales aplicaciones para utilizar la nueva librería de GPSTk.

1.3.5. DATOS DE OBSERVACIÓN

Los datos de observación *Obs* se refiere a cualquier medida de pseudodistancia, fase, Doppler ó cualquier otra señal realizada con un receptor GNSS. El archivo de datos R3 *Obs* han cambiado significativamente, proporcionando un soporte para datos adicionales, por ejemplo, receptores en movimiento o los detalles de la antena, pero hay importantes cambios estructurales. El principal de ellos es *Obs type* lista de códigos y el formato. *Obs archivos* ahora pueden incluir datos de múltiples GNSS en un archivo, lo que requiere información más detallada en la cabecera sobre los datos que está presente para cada GNSS. Hay nuevas estructuras de datos para el ID de satélite. Las épocas se presentan de manera diferente. La nueva clase *Obs* en GPSTk tuvo que ser modificada de manera significativa para manejar estos cambios. Algunos de los datos R3 se almacenan en los mapas, incluso en los mapas de mapas MoM, para simplificar el acceso a los diferentes sistemas de GNSS. El alcance de los

cambios en el R3 estándar requiere a los usuarios cambiar significativamente la manera en que se escriben sus aplicaciones.

1.4.- FUTURO DEL PROYECTO GPSTk

El cambio más significativo previsto en el corto plazo para la aplicación GPSTk es que la rama RINEX-3 que se integrase en la rama principal. Esto dará lugar a una revisión a fondo del código fuente, resultando la actualización del software con el nuevo GPSTK 2,0. Al igual que con otros proyectos, cuando la numeración de una versión mayor cambia, esto indica que el nuevo código no es compatible con versiones anteriores. Dada la magnitud de ese cambio, una versión pre-lanzamiento del proyecto GPSTk 2.0 puede ser entregado para facilitar las pruebas.

Están previstos también cambios más pequeños. Se añadirá la librería *libsatvis* . Esta librería necesitará extraer de visualizaciones detalladas de softwares existentes, algunos de los cuales todavía no han contribuido al proyecto GPSTk. Otra modificación de la librería también supone dotar al proyecto de más enlaces a otros lenguajes de programación como Python y Octave. El interfaz que apoya estas lenguas se está rediseñando y actualizando.

La aplicación *mpsolve* se está ampliando para resolver y eliminar los errores sistemáticos asociados a la fase de portadora. El detalle de estas ampliaciones del proyecto GPSTk será objeto de trabajos futuros para consulta de todos los usuarios de la aplicación.

CAPÍTULO 2. LA APLICACIÓN DDBASE DE GPSTK

2.1.- VISIÓN GENERAL DE DDBASE

DDBase es un software que procesa los datos de observación de una red de receptores GPS para estimar con precisión la posición de uno o más receptores. Fue diseñado para ser un procesador de cálculo GPS muy general para la obtención de dobles diferencias de fase, que puede ser aplicado al posicionamiento de una red sobre líneas base de cualquier longitud. DDBase es un recurso abierto que está en continuo desarrollo, es parte del proyecto GPS Toolkit.

DDBase es el núcleo del procesador de líneas base en el Sistema de Topografía Benchmark (BSS¹⁹). En BSS lo llaman software de procesado (BSSPS)²⁰, el cual es el interface gráfico de usuario (GUI)²¹ de la parte informática de BSS. Mientras el usuario de BSSPS no puede conocer, y no necesita conocer, cómo DDBase funciona internamente, pues DDBase es un procesador autónomo que se puede ejecutar directamente desde la línea de comando.

2.2.- PRELIMINARES DE GPS

Se considera necesario hacer una breve visión de conjunto del diseño y funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) así como sus antecedentes para comprender el funcionamiento de DDBase.

La constelación de satélites GPS emiten señales en dos frecuencias, denominadas L1 y L2, que constan ambas de una señal sincronizada y un mensaje de navegación. El receptor GPS compara la señal sincronizada con su oscilador propio para realizar una medida de la distancia satélite-receptor. Debido a los errores que aportan los osciladores, tanto del satélite como del receptor, esta medida se llama pseudodistancia. Una variedad de otros procesos en

¹⁹ Benchmark Survey System (BSS)

²⁰ Benchmark Survey System Processing Software (BSSPS)

²¹ Graphical User Interface (GUI)

el receptor añaden una cantidad significativa de ruido a esta medida. El receptor también sigue la fase de su propia señal; esta medida de la “fase portadora” es también una medida de distancia, pero se diferencia de la pseudodistancia en dos aspectos importantes, el primero la ambigüedad que será un valor constante pero desconocido, y el segundo es que ésta es mucho más precisa (aproximadamente 100 veces menos de ruido) que la pseudodistancia. El mensaje de navegación, que es emitido al principio de la portadora, puede ser descifrado para proporcionar el error del reloj del satélite así como las efemérides, que es el número y posición de los satélites que pueden ser empleados para calcular la posición de éstos.

Pseudodistancias simultáneas desde cuatro o más satélites se pueden combinar para calcular la posición y el error del receptor, utilizando un algoritmo estándar, como mínimos cuadrados, empleando las efemérides y error del reloj de cada satélite. Con la adición de un satélite más, el algoritmo puede ser ampliado para mejorar la solución y eliminar datos anómalos en lo que es denominado algoritmo RAIM²².

La solución de pseudodistancia, o el algoritmo RAIM, son utilizados solamente con el propósito de obtener una estimación del error del receptor; el posicionamiento no se produce con suficiente precisión para ser útil, por el elevado ruido de la pseudodistancia excepto como una estimación inicial. El error del reloj del receptor se necesita para aplicar la corrección a los datos que son sincronizados con precisión. El algoritmo RAIM también sirve como un chequeo aproximado en la posición inicial del receptor y como un editor de satélites malos y datos anómalos.

La precisión de la solución de pseudodistancia puede ser incrementada bastante mediante la diferencia de pseudodistancia respecto otro receptor cercano con posición conocida. Las ecuaciones son casi las mismas, sin embargo el resultado es una solución de la

²² Receiver Autonomous Integrity Monitoring RAIM

posición más precisa, que es relativa a la posición conocida del receptor²³. Esta técnica mejora los resultados eliminando errores que son comunes en los datos de ambos receptores, incluyendo errores del satélite y retardos impuestos por la atmósfera.

La diferenciación de los datos se puede realizar también con los datos de los satélites; ésta técnica se denomina “dobles diferencias”. Ello mejora la solución de nuevo mediante la eliminación de más errores comunes, incluyendo los errores del reloj del satélite. La utilización de la fase portadora directamente supone que es desconocida la ambigüedad, así como la posición del receptor, que debe ser estimada mediante un proceso de mínimos cuadrados. El número de errores desconocido para ser estimado puede ser reducido a un mínimo mediante la elección cuidadosa de la combinación de los satélites utilizados en las dobles diferencias. La solución ideal debería encontrar un único satélite a gran altura (bajo ruido en los datos) que tiene datos de fase continuos que abarcan todos ellos y diferenciar este satélite de “referencia” con todos los demás. En la práctica es necesario emplear un algoritmo distinto para analizar los datos y optimizar el número y sincronización en la elección de los satélites de referencia.

La combinación del muy bajo ruido en la fase portadora con el algoritmo de dobles diferencias permite sofisticados procesos para obtener resultados muy precisos de posicionamiento. Mientras las dobles diferencias introduce en el problema la estimación de los errores sistemáticos, ello también garantiza que dichos errores serán múltiplos de la longitud de onda de la portadora. De hecho puede ser utilizada para aumentar la precisión de la posición final; después de converger el algoritmo, las ambigüedades (errores sistemáticos) son sustituidas por sus valores enteros y son eliminadas de la estimación, a esto se le llama “fijar ambigüedades”.

Un algoritmo muy preciso de estimación de la posición debe tener en cuenta los cambios de orientación y rotación terrestres. Estos efectos son importantes en todas las

²³ La solución absoluta de la pseudodistancia es considerada relativa a la Tierra, que es cómo las efemérides del satélite son expresadas.

líneas base pero sobretodo en las líneas base muy cortas. Los parámetros de orientación terrestres son producidos como resultado de ambas medidas y predicciones realizadas por varias agencias, especialmente la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial²⁴ (NGA) y el Servicio Internacional de Rotación Terrestre²⁵ (IERS). Estos parámetros suelen producir pequeñas rotaciones en el sistema de referencia Terrestre fijado que suministra las correcciones necesarias.

La señal GPS está sujeta a retardos en su viaje a través de la atmósfera, principalmente debido a dos factores, la ionosfera y la troposfera. La ionosfera es la zona de partículas cargadas en la parte superior de la atmósfera, en altitudes superiores a 400Km. El retardo ionosférico depende no solamente de la cantidad de carga encontrada que varía con la posición de la Tierra, la hora del día, ciclos de 11 años, y menos predecible, con el “tiempo” ionosférico, sino también con la frecuencia de la portadora. Esta es la razón principal para la utilización de dos frecuencias en GPS. Con los datos de ambas frecuencias el retardo ionosférico puede ser medido y eliminado, aunque ello conlleva un aumento de ruido en la corrección de los datos. En líneas base cortas, sin embargo, el retardo es casi el mismo para ambos receptores, y por ello puede ser eliminado en “dobles diferencias” sin ningún problema; así la utilización de una sola frecuencia es preferida en líneas base cortas.

La troposfera es la parte más baja de la atmósfera, dónde hay una gran cantidad de vapor de agua y un tiempo uniforme. El retardo impuesto en la señal GPS es una función del ángulo de elevación (sencillamente tiene que ver con la cantidad de troposfera atravesada por la señal), y el tiempo (se modela en función de la temperatura, presión y humedad), pero no depende de la frecuencia de la señal. El retardo troposférico puede ser fácilmente modelado y casi totalmente eliminado; hay excepciones, sin embargo. En presencia de frentes meteorológicos con nubes o grandes diferencias en la altitud de los receptores, el error troposférico puede llegar a ser importante. En estos casos, o en todas la líneas base, un

²⁴ National Geospatial-Intelligence Agency NGA

²⁵ International Earth Rotation Service IERS

retardo residual troposférico cenital RZD^{26} puede incluirse en la estimación del problema. Esta técnica resuelve una única constante RZD para cada receptor y en varios intervalos fijos de tiempo a partir de un límite temporal. Estos valores de RZD son correlados al mismo tiempo; la incorporación de esta correlación en la estimación es decisiva.

Una vez que se aplica el algoritmo de dobles diferencias de fase muchos errores comunes del método son eliminados, sin embargo otros muchos quedan y deben ser eliminados o mitigados antes de poder obtener una solución de precisión.

De principal importancia es la pérdida de ciclos de la fase. El receptor de GPS sigue la trayectoria de la fase de la onda portadora exactamente, pero es propenso a repentinos errores en la ambigüedad. Estos “saltos” o “desplazamientos” son un número entero de longitudes de onda que se denomina “saltos de ciclo”. En las dobles diferencias de fase hay repentinos cambios en el número entero de ciclos de la fase. Éstos normalmente son eliminados mediante el análisis de las dobles diferencias; si no es posible entonces la ambigüedad tiene que ser estimada para cada satélite.

El efecto “multipath” de la fase de la onda portadora es probablemente el error dominante, en las líneas base muy cortas, en el proceso de estimación dobles diferencias de fase. El efecto “mutlipath” es un error aleatorio resultado de la llegada al receptor de la señal emitida por el satélite por varias trayectorias, debido a reflexiones de objetos próximos, incluso la superficie terrestre. Este efecto es notoriamente difícil de detectar y eliminar. Se pueden utilizar varios filtros y técnicas de suavizado del efecto, pero con éxito limitado; el mejor enfoque es prevenir el efecto multipath mediante la antena. Sin embargo una gran parte del diseño de DDBase implica la edición de dobles diferencias y una investigación del modelo de multipath con DDBase se sigue desarrollando en ARL:UT.

²⁶ Residual tropospheric zenith delay RZD

2.3.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE DDBASE

Es muy importante la modularidad y el diseño del código DDBase. Se describe un pequeño esquema del código de DDBase y el orden en el cual DDBase realiza cada una de estas tareas.

Se presenta un organigrama del diseño de DDBase. Hay cuatro secciones principales en DDBase, así:

- Configuración de entradas.
- Entrada de datos observados y preprocesamiento.
- Procesamiento de “dobles diferencias” de fase portadora.
- Algoritmo de estimación.

En la primera sección, DDBase lee la entrada de comandos y verifica que éstos son consistentes y que todas las entradas requeridas han sido proporcionadas. Se revisa que los nombres de los ficheros son válidos, entonces se abren y se leen los ficheros de efemérides, almacenando internamente éstas en “EphemerisStore” para utilizarlas posteriormente en el preprocesamiento y la estimación. DDBase también abre los ficheros de observación y lee todas las cabeceras de los ficheros RINEX.

El preprocesamiento consta de la lectura de todos los datos incluidos en los límites de tiempo, decalar los datos (si es necesario), rechazar datos obviamente malos, y almacenar todos los datos para todas las estaciones en orden de tiempo. Entonces una solución de pseudodistancia es calculada para cada estación en cada época. Esto tiene dos objetivos principales, primero, ello permite una estimación del error o desviación del reloj del receptor, y segundo, es útil para editar datos obviamente malos. El algoritmo RAIM incluido en este módulo (PRSolution GPSTk) automáticamente descarta datos anómalos, tanto para satélites individuales como para épocas enteras.

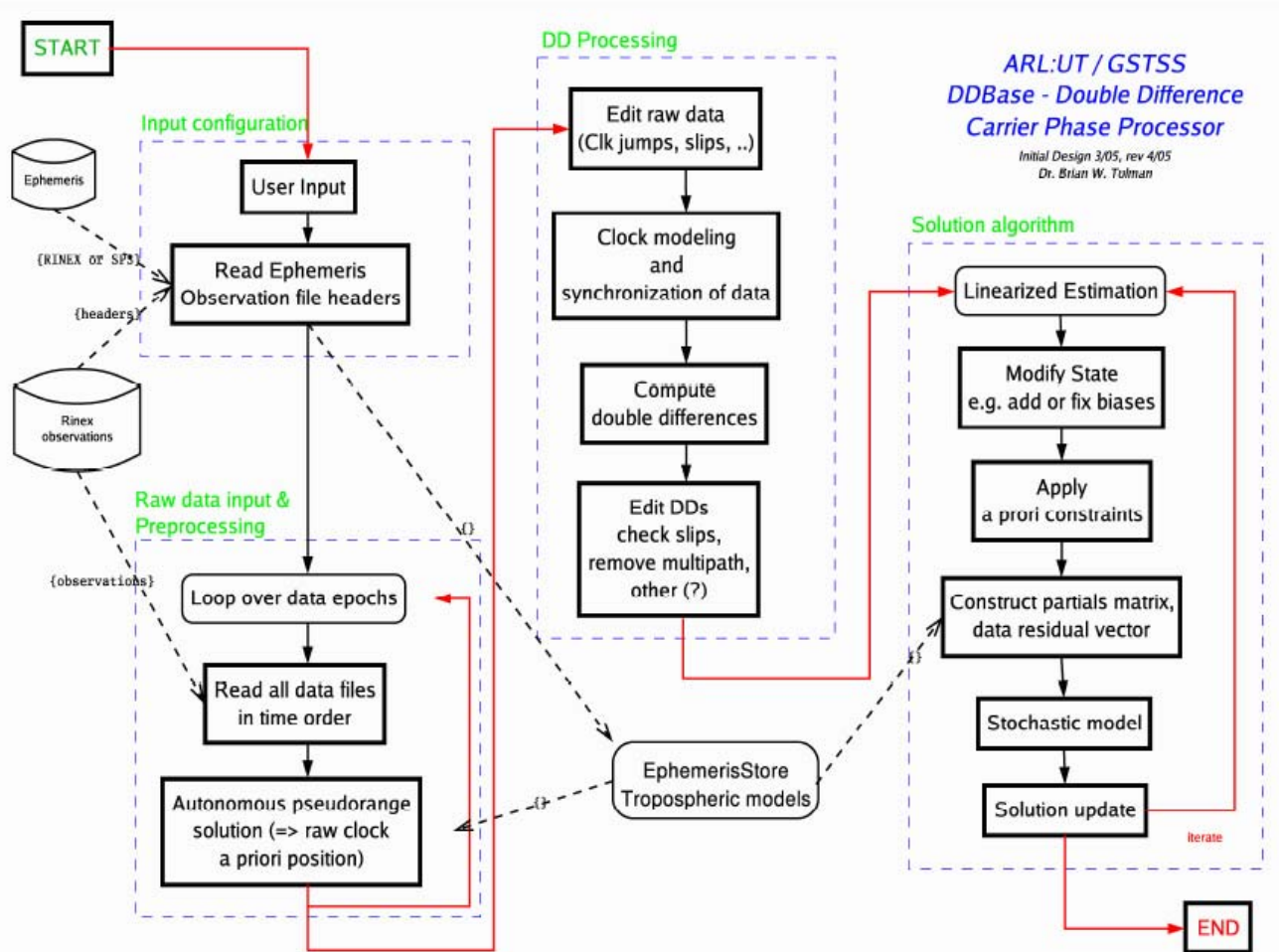


Fig. 1. Organigrama de funcionamiento de DDBase²⁷

A continuación DDBase vuelve a los datos de la fase portadora, primero aplicando una corrección que sincroniza exactamente las fases en diferentes estaciones, utilizando el error o desviación del reloj del receptor calculado en la solución de pseudodistancia. DDBase registra las fase buscando obvios “outliers” y cambios en las desviaciones. Hay un algoritmo que examina el ángulo de elevación de los satélites y calcula el conjunto óptimo de satélites para ser utilizado como satélite de referencia en la diferenciación, llamada “satellite time table”. Las dobles diferencias son entonces calculadas y almacenadas. Finalmente, varios algoritmos son empleados para examinar estas dobles diferencias a causa

²⁷ Cfr. DDBase Application en gpstk/branches/rinex3_dev/apps/geomatics/relposition/doc

de problemas, incluidos “outliners”, pérdidas de ciclo, segmentos que son demasiado pequeños para ser útiles, efecto multipath y ruido excesivo.

El procesador de la estimación es el módulo más dominante. Este es un procesador iterativo de mínimos cuadrados que incluye constreñimientos a priori, un modelo estocástico y test de convergencia. Las cantidades que son estimadas son las coordenadas de las estaciones “no fijadas” y los errores sistemáticos. Debido a que esto es un proceso iterativo, DDBase debe comenzar con un valor de salida para cada uno de estas coordenadas; aquí es donde utiliza la posición inicial que es necesaria en la entrada y los errores o desviaciones inicialmente son cero.

2.4.- UTILIZACIÓN DE DDBASE

2.4.1. INSTALACIÓN DE DDBASE

DDBase se ejecuta desde la línea de comandos solamente, y consta de un único fichero ejecutable. Fue diseñado para funcionar en cualquier plataforma, incluyendo UNIX, Windows y Solaris, y por tanto deliberadamente evita el uso de un interfaz gráfico de usuario GUI. De este modo la instalación simplemente consta de situar el fichero ejecutable en el directorio actual o en uno de los directorios especificados en el sistema.

2.4.2. FUNCIONAMIENTO DE DDBASE

DDBase necesita datos GPS simultáneos de todas las estaciones, receptores GPS, que serán incluidos en el procesamiento. La posición precisa será estimada mediante DDBase solamente para alguna de estas estaciones; las otras no serán posicionadas pero antes se mantendrán “fijas” y utilizadas como posición de referencia. Esto significa que la posición de una o más de las estaciones deberán ser conocidas; la solución de la posición que DDBase procede de los datos será relativa a la posición(es) de referencia conocida(s).

Para ejecutar DDBase el usuario debe tener acceso libre solamente a unos comandos además de los datos GPS observados. Para cada estación, el usuario tendrá que proporcionar una posición inicial, bien conocida para la estación “fijada”, o una posición aproximada para la estación que será posicionada. Además de los datos GPS, DDBase necesitará información de las efemérides del satélite, de los ficheros de navegación en formato RINEX o de los ficheros de efemérides en formato SP3. Finalmente, DDBase requiere información de los parámetros de orientación terrestre EOP²⁸, que pueden ser obtenidos fácilmente en <ftp://ftp.nima.mil/pub2/gps/eopp>.

Toda la información de entrada dada a DDBase aparece en la línea de comandos. DDBase imprimirá en pantalla una descripción de la sintaxis de estos comandos cuando no está funcionando con argumentos de la línea de comandos, o cuando la opción de ayuda (--h ó --help) ha sido dada.

Los comandos de entrada de DDBase incluyen un comando (--f ó --file) que permite al usuario colocar cualquier número de otros comandos en un fichero plano ASCII y DDBase tiene que leerlos como si ellos estuvieran en la línea de comandos. Esto permite al usuario reservar una línea de comandos corta y almacenar los comandos de entrada en un fichero para utilizarlos más tarde.

La mayoría de los comandos tienen valores por defecto y son opcionales; sin embargo hay algunos que son necesarios. Además, con DDBase hace falta que como mínimo dos estaciones sean definidas proporcionando dos comandos de entrada, dando el nombre del fichero de observación RINEX de las estaciones y una posición inicial. También DDBase obliga a que una ó más estaciones sean “fijas” y por otro lado una ó más estaciones no sean fijas. A continuación se resumen los comandos de entrada que son requeridos en DDBase, hay que tener en cuenta que la etiqueta de la estación es arbitraria y elegida por el usuario,

²⁸ Earth Orientation Parameter EOP

pero ésta debe ser utilizada constantemente en todas partes, con ésta se etiquetará los resultados en el fichero de salida “log”.

Hay algunas advertencias sobre el funcionamiento de DDBase, pues no todas las funcionalidades que han sido diseñadas se han implementado todavía. Actualmente en líneas base más largas de unos pocos kilómetros no han sido contrastadas y probablemente no producirá resultados satisfactorios, especialmente si las ambigüedades no son fijadas.

La mayoría de los comandos que son suministrados a DDBase no serán necesarios en un caso típico, los valores por defecto son los que mejor trabajarán.

Comandos de entrada	Descripción
--DT	Intervalo de tiempo de los datos observados en segundos
--NavFile <filename>	Fichero de efemérides, en formato RINEX ó SP3, pueden ser uno ó varios ficheros
--EOPFile <filename>	Fichero de parámetros de orientación terrestre, pueden ser uno ó varios ficheros
<i>Para cada estación, pueden ser uno ó más:</i>	
--ObsFile <name,id>	Nombre del fichero de observación RINEX, etiqueta de la estación
<i>Para cada estación, solo una de ellas:</i>	
--PosXYZ <X,Y,Z,id>	Posición de la estación XYZ, etiqueta de la estación
--PosLLH <La,Lo,H,id>	Posición de la estación en coordenadas geodésicas, etiqueta de la estación
--PosPRS <id>	Posición de la estación calculada mediante pseudodistancia < etiqueta de la estación >
<i>Para una estación como mínimo:</i>	
--Fix <id>	Indica que estación(es) que será(n) considerada(s) “fija(s)” < etiqueta de la estación >

2.4.3. FICHERO DE INFORMACIÓN Y RESULTADOS *.LOG

El fichero de salida “*.log” contiene toda la información y resultados que se derivan del procesamiento de la aplicación.

En este fichero se pueden diferenciar las cuatro secciones principales del funcionamiento²⁹ de la aplicación DDBase. Para ello se ha utilizado el fichero *V2V3.log*³⁰ a modo de ejemplo.

- **1ª Parte : Lectura de comandos de entrada y verificación de las entradas requeridas**

```
DDBase, ARL:UT DD phase estimation processor, Ver 4.7 12/12/08, Run 201/11/28 13:10:33
Compute baseline : VERT3-VERT2
---- Input is valid ----
Summary of command line input:
Debug is off
Verbose is on
Log file name is V2V3.log
Path for input obs files is .
Input Observation files are:
Vert23280.10o (station VERT2)
Vert33280.10o (station VERT3)
Path for input nav files is .
Input Navigation files are:
igs16112.sp3 igs16113.sp3 igs16114.sp3
Path for input earth orientation files is .
Input Earth orientation parameter files are:
EOPP0328.TXT EOPP0327.TXT
Station list is:
Station VERT2 (not fixed)
Position: 4929602.4378 -29186.6037 4033591.6848 m
Position: 39.479607 deg N 359.660774 deg E 55.819913 m
Trop model: Saas
Weather: 20.0 degC, 1010.00 mbar, 50.0 %
Obs files:
Vert23280.10o
Station VERT3 (fixed)
Position: 4929562.8911 -29212.6319 4033638.7919 m
Position: 39.480160 deg N 359.660469 deg E 55.366446 m
Trop model: Saas
Weather: 20.0 degC, 1010.00 mbar, 50.0 %
Obs files:
Vert33280.10o
End of Station list.
Process L1 data.
Begin time is 2010/11/24 10:00:15.000 = 1611/295215.000
End time is 2010/11/24 10:40:15.000 = 1611/297615.000
Set satellite G-1 as the reference in DDs
Set the number of iterations to 5
Set the convergence limit to 5.000e-08
On last iteration, fix biases
Do not estimate any residual zenith delay
A priori constraints, in ppm of the baseline:
Loose : 1.00e-01
```

Comprueba los ficheros de observaciones, de navegación y los parámetros de orientación terrestres. También el tipo de fichero de salida.

Revisa las estaciones a procesar, verifica la configuración de los modelos troposféricos y condiciones atmosféricas.

²⁹ Cfr. epígrafe 3.3.Principios de funcionamiento de DDBase.

³⁰ Este fichero corresponde a la línea base V2V3 de la red de líneas bases cortas que se estudiarán en el capítulo 5.


```

Tight : 1.00e-04
Pseudorange solution: iterations 10, convergence 1.00e-09, do not use algebra,
RMS residual limit 6.50, elevation mask 10.00
Stochastic model: use cos2 model.
Data interval is DT = 15.00 seconds.
Maximum gap in data = 10 * DT
Minimum DD dataset length = 50
Phase bias reset limit is 10 cycles
Minimum elevation for DD data is 10.00 degrees.
Computed baselines :
VERT3-VERT2
Output baselines :
VERT2-VERT3 ...without offset
Output file name: V2-V3R for raw DD data.
Output file name: V2-V3D for edited DD data.
Output file name: V2-V3Residuos for DD post-fit residuals.
End of command line input summary.
BEGIN Configure(1) at total time 0.000 seconds.
BEGIN ReadAllobsHeaders()

```

Verifica los parámetros del proceso de cálculo: convergencia, iteraciones y constreñimientos. Chequea el tiempo de procesamiento.

Lectura de la cabecera de los ficheros de observación de las estaciones que intervienen en el cálculo:

```

Opened and read header of observation file: ./Vert23280.10o
----- REQUIRED -----
Rinex Version 2.00, File type OBSERVATION DATA, System M (Mixed).
Prgm: LEICA GEO OFFICE 6.0, Run: 24-11-10 12:54, By:
Marker name: 0001.
Obs'r : , Agency:
Rec#: 308105, Type: LEICA ATX1230, Vers: 6.02
Antenna # : , Type : LEIATX1230GG
Position (XYZ,m) : (4929602.4378, -29186.6037, 4033591.6848).
Antenna offset (ENU,m) : (-0.0600, 0.0000, 0.0000).
Wavelength factors (default) L1:1, L2: 1.
Observation types (6) :
Type #0 = C1 C/A-code pseudorange (meters).
Type #1 = L1 L1 Carrier Phase (L1 cycles).
Type #2 = D1 Doppler Frequency L1 (Hz).
Type #3 = P2 Pcode L2 pseudorange (meters).
Type #4 = L2 L2 Carrier Phase (L2 cycles).
Type #5 = D2 Doppler Frequency L2 (Hz).
Time of first obs 2010/11/24 09:07:15.0000000 GPS
(This header is VALID 2.11 Rinex.)
----- OPTIONAL -----
Marker number : 0001
Time of last obs 2010/11/24 11:07:30.0000000 GPS
Leap seconds: 15
Number of Satellites with data : 16
SAT  C1  L1  D1  P2  L2  D2
G01  0   0   0   0   0   0
G02  0   0   0   0   0   0
G03  372 372 372 353 353 353
G04  0   0   0   0   0   0
G05  0   0   0   0   0   0
G06  460 460 460 459 459 459
G07  0   0   0   0   0   0

```

G08	0	0	0	0	0	0
G09	0	0	0	0	0	0
G10	0	0	0	0	0	0
G11	0	0	0	0	0	0
G12	0	0	0	0	0	0
G13	0	0	0	0	0	0
G14	0	0	0	0	0	0
G15	0	0	0	0	0	0
G16	480	480	480	480	480	480
G17	0	0	0	0	0	0
G18	342	342	342	334	334	334
G19	87	87	87	87	87	87
G20	0	0	0	0	0	0
G21	481	481	481	481	481	481
G22	116	116	116	113	113	113
G23	0	0	0	0	0	0
G24	0	0	0	0	0	0
G25	231	231	231	231	231	231
G26	0	0	0	0	0	0
G27	0	0	0	0	0	0
G28	0	0	0	0	0	0
G29	399	399	399	393	393	393
G30	481	481	481	481	481	481
G31	168	168	168	137	137	137
G32	0	0	0	0	0	0
R01	0	0	0	0	0	0
R02	0	0	0	0	0	0
R03	0	0	0	0	0	0
R04	0	0	0	0	0	0
R05	304	304	304	292	292	292
R06	0	0	0	0	0	0
R07	0	0	0	0	0	0
R08	0	0	0	0	0	0
R09	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0
R11	480	480	480	459	459	459
R12	0	0	0	0	0	0
R13	0	0	0	0	0	0
R14	0	0	0	0	0	0
R15	0	0	0	0	0	0
R16	0	0	0	0	0	0
R17	0	0	0	0	0	0
R18	0	0	0	0	0	0
R19	348	348	348	84	84	84
R20	480	480	480	432	432	432
R21	376	376	376	331	331	331
R22	0	0	0	0	0	0
R23	0	0	0	0	0	0
R24	0	0	0	0	0	0

Comments (2) :

L1PhaOff: 0.0888 L2PhaOff: 0.0885

C1 L1 D1 P2 L2 D2

----- END OF HEADER -----

Found interval 15.0000, and first epoch 2010/11/24 9:07:15.000=1611/292035.000

Opened and read header of observation file: ./Vert33280.10o

----- REQUIRED -----

Rinex Version 2.00, File type OBSERVATION DATA, System M (Mixed).
 Prgm: LEICA GEO OFFICE 6.0, Run: 24-11-10 12:41, By:
 Marker name: 0001.
 Obs'r : , Agency:
 Rec#: 311036, Type: LEICA ATX1230, Vers: 6.02
 Antenna # : , Type : LEIATX1230GG
 Position (XYZ,m) : (4929562.8911, -29212.6391, 4033638.7919).
 Antenna offset (ENU,m) : (-0.0600, 0.0000, 0.0000).
 Wavelength factors (default) L1:1, L2: 1.
 Observation types (6) :
 Type #0 = C1 C/A-code pseudorange (meters).
 Type #1 = L1 L1 Carrier Phase (L1 cycles).
 Type #2 = D1 Doppler Frequency L1 (Hz).
 Type #3 = P2 Pcode L2 pseudorange (meters).
 Type #4 = L2 L2 Carrier Phase (L2 cycles).
 Type #5 = D2 Doppler Frequency L2 (Hz).
 Time of first obs 2010/11/24 08:59:00.0000000 GPS
 (This header is VALID 2.11 Rinex.)

----- OPTIONAL -----

Marker number : 0001
 Time of last obs 2010/11/24 11:11:45.0000000 GPS
 Leap seconds: 15
 Number of Satellites with data : 19

SAT	C1	L1	D1	P2	L2	D2
G01	0	0	0	0	0	0
G02	0	0	0	0	0	0
G03	402	402	402	401	401	401
G04	0	0	0	0	0	0
G05	0	0	0	0	0	0
G06	531	531	531	531	531	531
G07	0	0	0	0	0	0
G08	0	0	0	0	0	0
G09	0	0	0	0	0	0
G10	0	0	0	0	0	0
G11	0	0	0	0	0	0
G12	0	0	0	0	0	0
G13	0	0	0	0	0	0
G14	0	0	0	0	0	0
G15	0	0	0	0	0	0
G16	532	532	532	532	532	532
G17	0	0	0	0	0	0
G18	385	385	385	384	384	384
G19	103	103	103	102	102	102
G20	0	0	0	0	0	0
G21	532	532	532	532	532	532
G22	193	193	193	191	191	191
G23	0	0	0	0	0	0
G24	0	0	0	0	0	0
G25	264	264	264	264	264	264
G26	0	0	0	0	0	0
G27	0	0	0	0	0	0
G28	0	0	0	0	0	0
G29	464	464	464	464	464	464
G30	532	532	532	532	532	532
G31	499	499	499	495	495	495
G32	0	0	0	0	0	0
R01	0	0	0	0	0	0
R02	0	0	0	0	0	0

```

R03  0  0  0  0  0  0
R04  0  0  0  0  0  0
R05 325 325 325 325 325 325
R06  0  0  0  0  0  0
R07  0  0  0  0  0  0
R08  0  0  0  0  0  0
R09 294 294 294 281 281 281
R10  0  0  0  0  0  0
R11 490 490 490 481 481 481
R12  70  70  70  70  70  70
R13  0  0  0  0  0  0
R14  0  0  0  0  0  0
R15  0  0  0  0  0  0
R16  0  0  0  0  0  0
R17  0  0  0  0  0  0
R18  0  0  0  0  0  0
R19 392 392 392 377 377 377
R20 532 532 532 532 532 532
R21 530 530 530 522 522 522
R22  15  15  15  11  11  11
R23  0  0  0  0  0  0
R24  0  0  0  0  0  0
Comments (2) :
L1PhaOff: 0.0888 L2PhaOff: 0.0885
C1 L1 D1 P2 L2 D2
----- END OF HEADER -----

```

Lectura y almacenamiento de efemérides:

```

Found interval 15.0000, and first epoch 2010/11/24 8:59:0.000=1611/291540.000
Dump of SP3EphemerisStore:
./igs16112.sp3
./igs16113.sp3
./igs16114.sp3
Dump of TabularEphemerisStore:
Data stored for 32 satellites, over time span 11/23/2010 00:00:00 to 11/25/2010 23:45:00.
BC Ephemeris store is empty
EOPStore dump (8 entries):
Time limits: [MJD 55523 - 55530] = [m/d/y 11/23/2010 - 11/30/2010]

```

- **2ª Parte : Entrada de datos y preprocesamiento**

```

BEGIN ReadAndProcessRawData() at total time 0.210 seconds.
First epoch is 2010/11/24 10:00:15.000 = 1611/295215.000
After end time (quit) : 2010/11/24 10:40:30.000=1611/297630.000
Last epoch is 2010/11/24 10:40:15.000 = 1611/297615.000
Total: 2 files, 780 epochs were read.
For station VERT2 read 160 good data epochs.
Average PR solution for site VERT2  4929609.48015  -29187.97513
4033594.51861
Std-dev PR solution for site VERT2   4.70511    1.36497    1.06123
For station VERT3 read 161 good data epochs.
Average PR solution for site VERT3  4929569.24963  -29213.84753
4033641.36818
Std-dev PR solution for site VERT3   0.99765    0.45609    1.08168
BEGIN EditRawDataBuffers() at total time 1.160 seconds.

```

Cálculo de la solución de pseudodistancia para cada vértice.

Max count is 160
 BEGIN OutputRawDataBuffers() at total time 1.160 seconds.

• 3ª Parte : Procesamiento de Dobles Diferencias

Edición de datos observados:

BEGIN EditRawDataBuffers() at total time 1.160 seconds.
 Max count is 160
 BEGIN OutputRawDataBuffers() at total time 1.160 seconds.
 Raw buffered data summary : n SITE sat npts span (count,gap size) (..)
 1 VERT2 G03 160 0 - 160 (103:1)
 2 VERT2 G06 160 0 - 160 (103:1)
 3 VERT2 G16 160 0 - 160 (103:1)
 4 VERT2 G18 160 0 - 160 (103:1)
 5 VERT2 G21 160 0 - 160 (103:1)
 6 VERT2 G22 7 154 - 160
 7 VERT2 G25 18 0 - 17
 8 VERT2 G29 134 0 - 160 (73:4) (81:1) (87:1) (93:6) (103:1) (137:2) (143:2) (146:7) (154:3)
 9 VERT2 G30 160 0 - 160 (103:1)
 10 VERT2 G31 3 57 - 59
 1 VERT3 G03 161 0 - 160
 2 VERT3 G06 161 0 - 160
 3 VERT3 G16 161 0 - 160
 4 VERT3 G18 161 0 - 160
 5 VERT3 G21 161 0 - 160
 6 VERT3 G22 67 94 - 160
 7 VERT3 G25 18 0 - 17
 8 VERT3 G29 161 0 - 160
 9 VERT3 G30 161 0 - 160
 10 VERT3 G31 151 0 - 160 (129:2) (150:5) (156:3)
 BEGIN Configure(2) at total time 1.160 seconds.
 Zenith tropospheric delays and station heights
 Station VERT2 (not fixed)
 Position: 4929602.438 m -29186.604 m 4033591.685 m
 Position: 39.479607 deg N, 359.660774 deg E, 55.819913 m
 Weather 20.0 deg C, 1010.00 mbars, 50.0%
 Trop (model: Saas) zenith delays: dry 2.300776 m, wet 0.114030 m, total 2.414806 m
 Station VERT3 (fixed)
 Position: 4929562.891 m -29212.632 m 4033638.792 m
 Position: 39.480160 deg N, 359.660469 deg E, 55.366446 m
 Weather 20.0 deg C, 1010.00 mbars, 50.0%
 Trop (model: Saas) zenith delays: dry 2.300776 m, wet 0.114030 m, total 2.414806 m
 BEGIN ClockModel() at total time 1.160 seconds. -- ClockModel() is not yet implemented.
 BEGIN OutputClockData()
 BEGIN Synchronization() at total time 1.160 seconds.
 BEGIN RecomputeFromEphemeris() at total time 1.200 seconds.
 BEGIN EphemerisImprovement() at total time 1.550 seconds.
 EphemerisStore is SP3 ephemeris
 BEGIN OutputRawData()
 BEGIN Timetable() at total time 1.550 seconds.
 Single difference VERT3 VERT2 G03 (raw buffers size: 161 160) size is too small (0)
 Single difference VERT3 VERT2 G06 (raw buffers size: 161 160)
 Single difference VERT3 VERT2 G16 (raw buffers size: 161 160)
 Single difference VERT3 VERT2 G18 (raw buffers size: 161 160) size is too small (0)
 Single difference VERT3 VERT2 G21 (raw buffers size: 161 160)

Single difference VERT3 VERT2 G22 (raw buffers size: 67 7) raw buffers size too small: 67 and 7
 Single difference VERT3 VERT2 G25 (raw buffers size: 18 18) size is too small (0)
 Single difference VERT3 VERT2 G29 (raw buffers size: 161 134) size is too small (0)
 Single difference VERT3 VERT2 G30 (raw buffers size: 161 160)
 Single difference VERT3 VERT2 G31 (raw buffers size: 151 3) raw buffers size too small: 151 and 3
 Single differences summary :

1	VERT2	VERT3	G06	114	46	-	160	elev:	40.0	-	49.3	(103:1)
2	VERT2	VERT3	G16	160	0	-	160	elev:	54.5	-	72.9	(103:1)
3	VERT2	VERT3	G21	160	0	-	160	elev:	56.4	-	68.7	(103:1)
4	VERT2	VERT3	G30	139	0	-	139	elev:	40.1	-	55.0	(103:1)

Here is the sorted list of segments:

1	VERT2	VERT3	G16	57	104	-	160	66.3	-	72.9	155.21
2	VERT2	VERT3	G21	103	0	-	102	61.8	-	68.7	146.01
3	VERT2	VERT3	G16	103	0	-	102	54.5	-	66.1	134.93
4	VERT2	VERT3	G21	57	104	-	160	56.4	-	61.6	131.76
5	VERT2	VERT3	G30	103	0	-	102	44.1	-	55.0	111.06
6	VERT2	VERT3	G06	57	104	-	160	44.7	-	49.3	105.01
7	VERT2	VERT3	G06	57	46	-	102	40.0	-	44.6	94.58
8	VERT2	VERT3	G30	36	104	-	139	40.1	-	43.8	93.57

End the sorted list; limits : 0 - 160
 Found the begin time: VERT2 VERT3 G21 103 0 - 102 61.8 - 68.7 146.01
 Found the end time: VERT2 VERT3 G16 57 104 - 160 66.3 - 72.9 155.21
 There are real gaps in the data; segments with data:
 (0-102) (104-160)
 VERT2 VERT3 G21 103 0 - 102 61.8 - 68.7 146.01
 VERT2 VERT3 G16 57 104 - 160 66.3 - 72.9 155.21
 Here is the time table (2)
 # DDBase, ARL:UT DD phase estimation processor, Ver 4.7 12/12/08, Run 2011/11/28 13:10:33
 # REF site site sat week use_first use_last data_start data_end
 REF VERT2 VERT3 G21 1611 295215.000 296760.000 295215.000 296745.000 61.8 68.7 103
 REF VERT2 VERT3 G16 1611 296760.000 297615.000 296775.000 297615.000 66.3 72.9 57
 End of time table.

Resumen de simples diferencias, eliminando las que no son válidas para el cálculo

Lista de segmentos pequeños de datos, no aportan información útil para el cálculo y son borrados.

Cálculo de Dobles Diferencias:

BEGIN DoubleDifference() at total time 1.560 seconds.
 DoubleDifference() for baseline VERT3-VERT2
 Single difference summary for baseline VERT3-VERT2

1	VERT3	VERT2	G03	160	0	-	160	(103:1)
2	VERT3	VERT2	G06	160	0	-	160	(103:1)
3	VERT3	VERT2	G16	160	0	-	160	(103:1)
4	VERT3	VERT2	G18	160	0	-	160	(103:1)
5	VERT3	VERT2	G21	160	0	-	160	(103:1)
6	VERT3	VERT2	G22	7	154	-	160	**Rejected
7	VERT3	VERT2	G25	18	0	-	17	
8	VERT3	VERT2	G29	134	0	-	160	(73:4) (81:1) (87:1) (93:6) (103:1) (137:2) (143:2) (146:7) (154:3)
9	VERT3	VERT2	G30	160	0	-	160	(103:1)
10	VERT3	VERT2	G31	3	57	-	59	**Rejected

DD: reference is set to VERT3 VERT2 G21 at 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 count 0
 Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G03 G21 at 0 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 L1: -2
 Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G06 G21 at 0 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 L1: -3
 Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G16 G21 at 0 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 L1: 1
 Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G18 G21 at 0 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 L1: 2
 Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G25 G21 at 0 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 L1: -9
 Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G29 G21 at 0 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 L1: 10

```

Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G30 G21 at 0 2010/11/24 10:00:15.000=1611/295215.000 L1: 2
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G21 at 88 2010/11/24 10:22:15.000=1611/296535.000 L1: -23
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G21 at 90 2010/11/24
10:22:45.000=1611/296565.000 L1: -28
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G21 at 99 2010/11/24 10:25:0.000=1611/296700.000 DD eliminadas
L1: -12
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G21 at 102 2010/11/24
10:25:45.000=1611/296745.000 L1: 15
DD: reference is set to VERT3 VERT2 G16 at 2010/11/24 10:26:15.000=1611/296775.000 count 104
Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G03 G16 at 104 2010/11/24 10:26:15.000=1611/296775.000 L1: -4
Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G06 G16 at 104 2010/11/24 10:26:15.000=1611/296775.000 L1: -5
Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G18 G16 at 104 2010/11/24 10:26:15.000=1611/296775.000 L1: 1
Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G29 G16 at 104 2010/11/24 10:26:15.000=1611/296775.000 L1: 65
Phase bias (initial) on VERT3 VERT2 G30 G16 at 104 2010/11/24 10:26:15.000=1611/296775.000 L1: 0
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G16 at 139 2010/11/24 10:35:0.000=1611/297300.000 L1: -54
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G16 at 140 2010/11/24 10:35:15.000=1611/297315.000 L1: 32
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G03 G16 at 150 2010/11/24
10:37:45.000=1611/297465.000 L1: -36
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G16 at 153 2010/11/24 DD eliminadas
10:38:30.000=1611/297510.000 L1: -87
Phase bias (reset ) on VERT3 VERT2 G29 G16 at 157 2010/11/24
10:39:30.000=1611/297570.000 L1: 148
BEGIN EditDDs() at total time 1.600 seconds.
TUR site site sat sat iter N Average StdDev SigYX Median M-est MAD
SUR site site sat sat iter N Average StdDev SigYX Median M-est MAD
Warning - DD VERT3 VERT2 G03 G16 had 1 resets between 105 and 160 : 150[46]
Delete data due to reset for DD VERT3 VERT2 G03 G16 in the range 0 to 46
TUR VERT3 VERT2 G03 G21 L1 1 102 -0.001 0.004 0.004 -0.001 -0.001 0.004
SUR VERT3 VERT2 G03 G21 L1 1 103 -0.057 0.025 0.009 -0.045 -0.056 0.021
BEGIN OutputRawDDData()
Opened file V2-V3R for raw DD data output.
TUR VERT3 VERT2 G06 G16 L1 1 56 0.001 0.005 0.005 0.001 0.001 0.005
SUR VERT3 VERT2 G06 G16 L1 1 57 -0.013 0.018 0.005 -0.017 -0.013 0.022
TUR VERT3 VERT2 G06 G21 L1 1 102 -0.001 0.004 0.004 -0.001 -0.001 0.004
SUR VERT3 VERT2 G06 G21 L1 1 103 -0.090 0.030 0.006 -0.092 -0.090 0.040
TUR VERT3 VERT2 G18 G16 L1 1 56 0.002 0.004 0.004 0.002 0.002 0.004
SUR VERT3 VERT2 G18 G16 L1 1 57 0.143 0.026 0.004 0.135 0.143 0.031
TUR VERT3 VERT2 G16 G21 L1 1 159 -0.002 0.004 0.004 -0.002 -0.002 0.004
SUR VERT3 VERT2 G16 G21 L1 1 160 -0.210 0.099 0.010 -0.224 -0.210 0.127
TUR VERT3 VERT2 G30 G16 L1 1 56 0.000 0.003 0.003 0.001 0.000 0.003
SUR VERT3 VERT2 G30 G16 L1 1 57 -0.000 0.007 0.006 -0.001 -0.001 0.005
TUR VERT3 VERT2 G18 G21 L1 1 102 -0.001 0.006 0.006 -0.001 -0.001 0.006
SUR VERT3 VERT2 G18 G21 L1 1 103 -0.119 0.028 0.011 -0.115 -0.119 0.036
Warning - DD VERT3 VERT2 G29 G21 had 4 resets between 1 and 102 : 88[82] 90[84] 99[87] 102[90]
Delete data due to reset for DD VERT3 VERT2 G29 G21 in the range 0 to 82
Warning - DD VERT3 VERT2 G29 G21 L1 slip -9.071 cycles, at 1611 296370.000 = 2010/11/24 10:19:30.000 =
count 77 on iteration 1
TUR VERT3 VERT2 G29 G21 L1 1 81 -0.022 0.192 0.191 -0.001 -0.001 0.007
Fix L1 slip at count 77 1611 296370.000 total mag -9 iteration 1
TUR VERT3 VERT2 G29 G21 L1 2 81 -0.001 0.008 0.008 -0.001 -0.001 0.007
SUR VERT3 VERT2 G29 G21 L1 1 82 -0.027 0.028 0.014 -0.024 -0.024 0.021
TUR VERT3 VERT2 G30 G21 L1 1 102 -0.001 0.003 0.003 -0.001 -0.001 0.003
SUR VERT3 VERT2 G30 G21 L1 1 103 -0.002 0.045 0.004 -0.003 -0.002 0.057
VERT3 VERT2 G03 G16 total = 57, count = 104 - 160 -- Delete this DD dataset.
VERT3 VERT2 G29 G16 total = 43, count = 104 - 160 -- Delete this DD dataset.
VERT3 VERT2 G25 G21 total = 18, count = 0 - 17 -- Delete this DD dataset.
Double differences summary:
1 VERT3 VERT2 G03 G21 103 0 - 102

```

```

2 VERT3 VERT2 G06 G16  57 104 - 160
3 VERT3 VERT2 G06 G21 103  0 - 102
4 VERT3 VERT2 G18 G16  57 104 - 160
5 VERT3 VERT2 G16 G21 160  0 - 160 (103:1)
6 VERT3 VERT2 G30 G16  57 104 - 160
7 VERT3 VERT2 G18 G21 103  0 - 102
8 VERT3 VERT2 G29 G21  82  0 - 86 (73:4) (81:1)
9 VERT3 VERT2 G30 G21 103  0 - 102
BEGIN OutputDDDData()
Opened file V2-V3D for DD data output.
BEGIN ConfigureEstimation() at total time 2.630 seconds.
Earth orientation parameters at median time 11/24/2010 10:20:15 :
  xp, yp, UT1mUTC*Wearth (all radians) = 0.000000978, 0.000001213, -0.000008321
BEGIN ConfigureStochasticModel() with model cos2 at total time 2.630 seconds.
BEGIN Estimation() at total time 2.630 seconds.

```

Resumen definitivo de DD

- **4ª Parte : Aplicación del algoritmo de estimación**

```

BEGIN LLS Iteration #1 at total time 2.630 seconds.-----
  Estimation data summary N  M-est  MAD  Ave  Std  SigYX  Slop_um  SigSl_um
EDS 1 VERT3 VERT2 G03 G21 103 -0.056 0.021 -0.057 0.025 0.009 -780.032 29.500 -80.343
EDS 2 VERT3 VERT2 G06 G16  57 -0.013 0.022 -0.013 0.018 0.005 1012.413 40.539 57.708
EDS 3 VERT3 VERT2 G06 G21 103 -0.090 0.040 -0.090 0.030 0.006 -972.632 18.666 -100.181
EDS 4 VERT3 VERT2 G18 G16  57  0.143 0.031  0.143 0.026 0.004 1544.107 35.790 88.014
EDS 5 VERT3 VERT2 G16 G21 160 -0.210 0.127 -0.210 0.099 0.010 -2099.776 16.514 -335.964
EDS 6 VERT3 VERT2 G30 G16  57 -0.001 0.005 -0.000 0.007 0.006 221.755 44.764 12.640
EDS 7 VERT3 VERT2 G18 G21 103 -0.119 0.036 -0.119 0.028 0.011 -873.661 37.037 -89.987
EDS 8 VERT3 VERT2 G29 G21  82 -0.024 0.021 -0.027 0.028 0.014 -1005.917 62.780 -82.485
EDS 9 VERT3 VERT2 G30 G21 103 -0.002 0.057 -0.002 0.045 0.004 -1512.142 12.047 -155.751
a priori covariance          VERT2-X          VERT2-Y          VERT2-Z
  VERT2-X          1.564e+01          0.000e+00          0.000e+00
  VERT2-Y          0.000e+00          6.775e+00          0.000e+00
  VERT2-Z          0.000e+00          0.000e+00          2.219e+01
a priori covariance for biases : 2.263e-03
Measurement covariance (model cos2) is
1.685e-06 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08
3.741e-08 9.349e-07 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08
3.741e-08 3.741e-08 2.810e-07 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08
3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 1.784e-06 3.741e-08 3.741e-08
3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 1.370e-06 3.741e-08
3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 3.741e-08 2.688e-07
DDBase: 1 iterations, convergence criterion = 1.453e+00 m; (5.000e-08 m)

```

State label	Nominal State	State Update	New Solution	Sigma
VERT2-X	0.000000	-0.528620	-0.528620	0.000959
VERT2-Y	0.000000	-0.298203	-0.298203	0.003615
VERT2-Z	0.000000	0.192027	0.192027	0.000800
VERT3-VERT2_G03-G21	0.000000	-0.585182	-0.585182	0.004194
VERT3-VERT2_G06-G16	0.000000	-0.182563	-0.182563	0.001279
VERT3-VERT2_G06-G21	0.000000	-0.516866	-0.516866	0.003839
VERT3-VERT2_G18-G16	0.000000	0.648510	0.648510	0.003923
VERT3-VERT2_G16-G21	0.000000	-0.498368	-0.498368	0.002509
VERT3-VERT2_G30-G16	0.000000	0.532848	0.532848	0.002933
VERT3-VERT2_G18-G21	0.000000	0.164758	0.164758	0.001707
VERT3-VERT2_G29-G21	0.000000	-0.151409	-0.151409	0.002234
VERT3-VERT2_G30-G21	0.000000	0.242302	0.242302	0.000551
Baseline VERT2-VERT3	39.018080	25.729997	-46.915073	66.222862

RES total RMS = 6.24e-02
 BEGIN LLS Iteration #2 at total time 3.750 seconds.-----

Realiza 5 iteraciones y fija ambigüedades en la 6ª iteración

BEGIN LLS Iteration #6 at total time 8.220 seconds.-----

Estimation data summary N M-est MAD Ave Std SigYX Slop_um SigSl_um
 EDS 1 VERT3 VERT2 G03 G21 103 -0.056 0.021 -0.057 0.025 0.009 -780.032
 29.500 -80.343
 EDS 2 VERT3 VERT2 G06 G16 57 -0.013 0.022 -0.013 0.018 0.005 1012.413 40.539 57.708
 EDS 3 VERT3 VERT2 G06 G21 103 -0.090 0.040 -0.090 0.030 0.006 -972.632 18.666 -100.181
 EDS 4 VERT3 VERT2 G18 G16 57 0.143 0.031 0.143 0.026 0.004 1544.107 35.790 88.014
 EDS 5 VERT3 VERT2 G16 G21 160 -0.210 0.127 -0.210 0.099 0.010 -2099.776 16.514 -335.964
 EDS 6 VERT3 VERT2 G30 G16 57 -0.001 0.005 -0.000 0.007 0.006 221.755 44.764 12.640
 EDS 7 VERT3 VERT2 G18 G21 103 -0.119 0.036 -0.119 0.028 0.011 -873.661 37.037 -89.987
 EDS 8 VERT3 VERT2 G29 G21 82 -0.024 0.021 -0.027 0.028 0.014 -1005.917 62.780 -82.485
 EDS 9 VERT3 VERT2 G30 G21 103 -0.002 0.057 -0.002 0.045 0.004 -1512.142 12.047 -155.751

Fix the biases:
 fix VERT3-VERT2_G03-G21 to -3 cycles
 fix VERT3-VERT2_G06-G16 to -1 cycles
 fix VERT3-VERT2_G06-G21 to -3 cycles
 fix VERT3-VERT2_G18-G16 to 4 cycles
 fix VERT3-VERT2_G16-G21 to -3 cycles
 fix VERT3-VERT2_G30-G16 to 3 cycles
 fix VERT3-VERT2_G18-G21 to 1 cycles
 fix VERT3-VERT2_G29-G21 to -1 cycles
 fix VERT3-VERT2_G30-G21 to 1 cycles

Fix biases on this iteration (new State dimension is 3)
 a priori covariance VERT2-X VERT2-Y VERT2-Z
 VERT2-X 1.523e-05 0.000e+00 0.000e+00
 VERT2-Y 0.000e+00 6.612e-06 0.000e+00
 VERT2-Z 0.000e+00 0.000e+00 2.201e-05

DDBase: 6 iterations, convergence criterion = 8.745e-02 m; (5.000e-08 m)

State label	Nominal State	State Update	New Solution	Sigma
VERT2-X	0.000000	0.067087	0.067087	0.000145
VERT2-Y	0.000000	-0.055131	-0.055131	0.000045
VERT2-Z	0.000000	0.010375	0.010375	0.000078

Baseline VERT2-VERT3 39.089189 25.658346 -46.902530 66.228112

Opened file V2-V3Residuos for post fit residuals output.

RES final total RMS = 1.44e-01

Final Solution:

Biases (cycles) with sigma
 VERT3-VERT2_G03-G21 -3.175 0.022
 VERT3-VERT2_G06-G16 -0.990 0.007
 VERT3-VERT2_G06-G21 -2.808 0.020
 VERT3-VERT2_G18-G16 3.502 0.021
 VERT3-VERT2_G16-G21 -2.679 0.013
 VERT3-VERT2_G30-G16 2.870 0.015
 VERT3-VERT2_G18-G21 0.905 0.009
 VERT3-VERT2_G29-G21 -0.742 0.012
 VERT3-VERT2_G30-G21 1.285 0.003

Final covariance and position solutions:

VERT2-X	VERT2-Y	VERT2-Z	Position
VERT2-X	2.092601e-08	-3.049228e-09	3.245351e-09 4929601.980289

VERT2-Y -3.049228e-09 1.987985e-09 7.706183e-10 -29186.973554
VERT2-Z 3.245351e-09 7.706183e-10 6.031589e-09 4033591.889370

VERT2: Estimated Position 4929601.980289 -29186.973554 4033591.889370
VERT2: Estimated Sigmas 0.000145 0.000045 0.000078
VERT3: Fixed Position 4929562.891100 -29212.631900 4033638.791900
Final Baseline VERT2-VERT3 39.089189 25.658346 -46.902530
66.228112

Data Totals: 160 epochs, 825 DDs (which is 5.156 DDs/epoch) used in estimation.

Posición final estimada para
el vértice 2

CAPÍTULO 3.- DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DDBASE

3.1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Para el desarrollo de este trabajo, se ha utilizado la aplicación DDBase del Proyecto GPS Toolkit, que ha sido llevado a cabo por el Laboratorio Espacial de Geofísica, perteneciente a los Laboratorios de Investigación Aplicada en la Universidad de Texas en Austin (ARL: UT). Con el objeto de calcular y contrastar la posición de una red formada por los vértices de la red de Estaciones de Referencia GNSS de Valencia (red ERVA)³¹.

Se ha decidido utilizar las estaciones de referencia de la red ERVA debido a que éstas proporcionan un importante servicio en lo que se refiere a la disponibilidad de observables GPS de alta precisión de forma permanente, y en distintos formatos.

En general se puede decir que las estaciones permanentes pueden ser controladas por *organismos geodésicos*, como es el caso del Instituto Cartográfico Valenciano ICV, y en otras ocasiones por otro tipo de *instituciones*, e incluso empresas privadas. Cada una de estas estaciones además de dar servicio a la entidad a la cual pertenece, gestiona y facilita a otros usuarios esta información, aunque existe heterogeneidad en la calidad y servicios prestados. Ello se debe a la diferente localización y procedencia de estas estaciones GPS, siendo necesario tener conocimiento de la estructura lógica de la información que dichas estaciones están emitiendo. Aunque estos observables se normalizan cuando están integrados en redes nacionales, europeas o internacionales, sin embargo no sucede lo mismo con los datos puestos a disposición de las estaciones que no pertenecen a dichas redes o que se trata de receptores permanentes GPS particulares.

³¹ La Red de Estaciones de Referencia de Valencia (ERVA) surge con el propósito de convertir a la Generalitat Valenciana en Proveedor de Datos GNSS mediante una Red multi-propósito de medición continua y posicionamiento por satélite. La Red ERVA es una herramienta imprescindible para vuelos fotogramétricos realizados sobre el territorio, para Cartografía y SIG, Geodesia, Geofísica, Navegación, localización de puntos de interés, delimitación de zonas y para Ingeniería. Mediante esta infraestructura en permanente funcionamiento, el usuario dispone de un sistema de geo-referenciación preciso y continuo materializado en el territorio en el Sistema de Referencia Geodésico ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), ahorrando en tiempo y costes al existir la infraestructura pública.

3.1.1. REQUISITOS DE LAS ESTACIONES PERMANENTES

Muchos de estos sistemas GPS que registran datos de forma continua y son capaces de ponerlos a disposición de cualquier usuario, para su correcta utilización es necesaria una homogeneización del sistema y de los datos para conseguir una alta fiabilidad y precisión.

Por ello, para que una estación de referencia pueda integrarse en una red geodésica debe cumplir con un mínimo de requisitos. En el caso concreto de las redes IGS o EUREF, los requisitos son los siguientes:

- El **receptor**, este debe rastrear códigos y fases en varias frecuencias, recibir la señal de al menos 8 satélites de forma simultánea, y con un valor de muestreo de 30 segundos. Debe sincronizar el instante real de observación con el tiempo real GPS con un error mejor de 1 milisegundo y debe estar protegido de posibles fallos eléctricos. Si los datos se transmiten en tiempo real a un ordenador externo sin almacenarse en el receptor, la computadora tiene que tener la misma protección. La calidad de la recepción de la señal se ha de determinar respecto a la interferencia de otras fuentes y respecto al multicamino.
- La **antena**, debe estar orientada, e incluir un elemento “Dorne-Margolin” y un “Choke-ring” para la determinación de las variaciones del centro de fase; además debe protegerse de inclemencias meteorológicas y vandalismo. La altura de la antena se corresponde con la distancia vertical del punto de referencia físico convenido.
- La monumentación de la **base** debe cumplir la estabilidad, durabilidad, permanencia y acceso de cualquier base geodésica de primer orden, localizada en un lugar con mínima obstrucción, mascara de elevación por debajo de 15°.
- Las **coordenadas** de la estación deben estar determinadas en el marco de referencia internacional ITRF, y garantizar una precisión milimétrica tridimensional.

3.1.2. ESTACIONES PERMANENTES UTILIZADAS.

La red de Estaciones de Referencia de Valencia está compuesta por las siguientes ocho estaciones:

Alcoy, Ayora, Borriana, Denia, Morella, Torrevieja, Utiel y Valencia (Pinedo)



Fig. 2. Situación de las estaciones red ERVA³²

³² Cfr. www.icv.gva.es/ICV

Estación	Identificador estación referencia GPS	Coordenadas cartesianas geocéntricas ETRS 89		
		X	Y	Z
Alcoy	ALCO	4984687,4297	-41199,1554	3966605,9473
Ayora	AYOR	4958705,6715	-91680,7603	3998023,6184
Borriana	BORR	4899519,2985	-7115,8173	4069961,4078
Denia	DENI	4974895,8890	9000,7530	3978089,6810
Morella	MORE	4849098,7850	-8595,4180	4130985,8360
Torreveija	TORR	5033805,3830	-59823,0840	3903319,5170
Utiel	UTIE	4922873,2371	-103857,7186	4041693,7180
Valencia	VCIA	4932702,9530	-29607,7810	4029833,0270

En el anexo 2, se puede consultar una descripción detallada y los metadatos de las estaciones de referencia.

Para descargar los datos de observación de las estaciones de referencia para trabajar en post-proceso, se debe entrar en la página del ICV³³ y, en el apartado Servicios profesionales – estaciones GPS ERVA. El formato de publicación de archivos es RINEX compacto comprimido (compresión Hatanaka). El tipo de datos publicado para cada estación (épocas de registro 1, 5 y/o 30 segundos), se refleja en la descripción de cada una de las estaciones. También se puede escoger la opción de descarga personalizada.

Para descargar un archivo concreto, se selecciona la carpeta 1, 5 ó 30 seg. en el menú de enlace a datos.

Seguidamente, se selecciona el directorio del día correspondiente. El nombre del directorio tiene la forma *YYYYMMDD* siendo, *YYYY* año, *MM* mes del año, *DD* día del mes.

Dentro del directorio de cada día, existen dos tipos de archivos:

- EGPSdddS.yyd.Z Datos del receptor en RINEX formato comprimido
- EGPSdddS.yyn.Z Fichero de navegación RINEX

siendo

³³ www.icv.gva.es

EGPS el identificador de 4 caracteres de la estación de referencia GPS

ddd día GPS del año

S sesión

yy dos últimos dígitos del año.

Los archivos de 30 seg. son diarios y, por lo tanto, sólo habrá uno por cada día y tendrá como sesión el dígito 0.

Para descargar un archivo se puede realizar de dos maneras, o bien hacer doble click en fichero, o bien click en botón derecho → guardar fichero como.

En este caso, para descargar el archivo 30 seg. de las estaciones de referencia del día 4 de Marzo de 2010, se seleccionarán los archivos:

ALCO0630.10d.Z

DENI0630.10d.Z

UTIE0630.10d.Z

AYOR0630.10d.Z

MORE0630.10d.Z

VCIA0630.10d.Z

BORR0630.10d.Z

TORR0630.10d.Z

Los ficheros de navegación o datos se encuentran comprimidos, los archivos *.yyd.Z ó *.yyn.Z se descomprimen con WinZip o con un descompresor basado en Unix, obteniendo el archivo en RINEX compacto (compresión Hatanaka) de la forma *.yyd o *.yyn .

Algunos softwares importan el formato RINEX compacto (*.yyd) automáticamente, pero no es así con la aplicación DDBase, de manera que se obtener el archivo en RINEX estándar con la utilidad CRX2RNX.EXE de la siguiente manera:

```
CRX2RNX EGPSdddS.yyd
```

De este modo se obtiene el fichero RINEX estándar EGPSdddS.yyo

Los ficheros de observación de las estaciones de referencia, en formato RINEX estándar, quedan de la siguiente manera:

RINEX compacto comprimido	RINEX compacto	RINEX estándar
ALCO0630.10d.Z	ALCO0630.10d	ALCO0630.10o
AYOR0630.10d.Z	AYOR0630.10d	AYOR0630.10o
BORR0630.10d.Z	BORR0630.10d	BORR0630.10o
DENI0630.10d.Z	DENI0630.10d	DENI0630.10o
MORE0630.10d.Z	MORE0630.10d	MORE0630.10o
TORR0630.10d.Z	TORR0630.10d	TORR0630.10o
UTIE0630.10d.Z	UTIE0630.10d	UTIE0630.10o
VCIA0630.10d.Z	VCIA0630.10d	VCIA0630.10o

3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO

3.2.1. RED ERVA

En un principio, para comenzar con el estudio de la aplicación DDBase, se realizó el cálculo de la posición de las bases:

- **Base VCIA-VALE**, siendo VALE la estación permanente de VALENCIA del Instituto Geográfico Nacional (IGN) perteneciente, además, a la red EUREF.
- **Base VCIA-DENI**
- **Base VCIA-DENI-BORR**
- **Base VCIA-DENI-BORR-VALE**

Todo ello desarrollado y analizado convenientemente en el Trabajo de Investigación realizado por el mismo autor.

En este trabajo incorporaremos todos los vértices de la red ERVA del ICV para establecer una comparación de resultados y determinar las limitaciones de la aplicación DDBase en el cálculo de la posición de las estaciones de referencia observadas.

Utilizaremos entonces todas las estaciones siguientes: Alcoy, Ayora, Borriana, Denia, Morella, Torrevieja, Utiel y Valencia (Pinedo).

Debido a que la aplicación DDBase no tiene en consideración la altura de las antenas, aunque ésta figure en el fichero de observación, desde la marca de la estación hasta el punto de referencia de la antena (ARP³⁴), se tiene que realizar una transformación de dichas coordenadas al sistema de coordenadas cartesianas geocéntricas.

Las coordenadas de la antena vienen expresadas en un sistema de referencia topográfico (N, E, U) definido por:

- Origen del sistema es el punto de estación del receptor
- Eje N siguiendo la dirección del Norte en el punto de estación del receptor.
- Eje E siguiendo la dirección del Este en el punto de estación del receptor.
- Eje U según la dirección de la vertical en el punto de estación del receptor.

Por lo tanto para la obtención de los correspondientes incrementos de las coordenadas cartesianas geocéntricas se aplica la expresión:

$$\begin{pmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ Z_{ij} \end{pmatrix} = R(\varphi_i, \lambda_i) \cdot \begin{pmatrix} E_{ij} \\ N_{ij} \\ U_{ij} \end{pmatrix}$$

donde

$$R(\varphi_i, \lambda_i) = \begin{pmatrix} -\text{sen}\lambda_i & -\text{sen}\varphi_i \cos\lambda_i & \cos\varphi_i \cos\lambda_i \\ \cos\lambda_i & -\text{sen}\varphi_i \text{sen}\lambda_i & \cos\varphi_i \text{sen}\lambda_i \\ 0 & \cos\varphi_i & \text{sen}\varphi_i \end{pmatrix}$$

Previamente se han calculando las coordenadas geográficas ETRS89 de las estaciones observadas a partir de las coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89. Como en los casos

³⁴ ARP: Antenna Reference Point

anteriores, se ha utilizado el programa básico para cálculos geodésicos disponible en la página web del ICV TranICV³⁵.

Estación de referencia	Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89		Coordenadas geográficas ETRS89	
ALCOY ALCO	X	4984687,4297	φ	38°,69798450106
	Y	-41199,1554	λ	-0°,4735470393331
	Z	3966605,9473	h	640,09041m.
AYORA AYOR	X	4958705,6715	φ	39°,061336468237
	Y	-91680,7603	λ	-1°,0592123326645
	Z	3998023,6184	h	661,81507m.
BORRIANA BORR	X	4899519,2985	φ	39°,90517702307
	Y	-7115,8173	λ	-0°,08321347208
	Z	4069961,4078	h	72,901023 m.
DENIA DENI	X	4974895,8890	φ	38°,834777508
	Y	9000,7530	λ	0°,10366138470
	Z	3978089,6810	h	69,670024 m.
MORELLA MORE	X	4849098,7850	φ	40°,6179453316
	Y	-8595,4180	λ	-0°,10156127572
	Z	4130985,8360	h	1037,5449m.
TORREVIEJA TORR	X	5033805,3830	φ	37°,9753135777
	Y	-59823,0840	λ	-0°,68088625126
	Z	3903319,5170	h	57,10828m.
UTIEL UTIE	X	4922873,2371	φ	39°,56867861067
	Y	-103857,7186	λ	-1°,20858816736
	Z	4041693,7180	h	799,68106m.
VALENCIA VCIA	X	4932702,9530	φ	39°,43570694
	Y	-29607,7810	λ	-0°,34390486021
	Z	4029833,0270	h	62,9502 m.

Con las coordenadas geográficas obtenidas de estas estaciones, se calculará las coordenadas geocéntricas ETRS89 del punto de referencia de la antena, ARP. El paso previo será aplicar una transformación de Helmert, definida con anterioridad, para obtener los incrementos a corregir en las coordenadas de la estación de referencia.

³⁵ Para la transformación a coordenadas geográficas ETRS89 se ha empleado TransICV que es un programa básico ejecutable bajo Windows para cálculos geodésicos que ofrece el Instituto Cartográfico Valenciano en su página Web.

Antena estación de referencia	Coordenadas topográficas		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89	
ALCO	N	0,000	ΔX	0,03668001
	E	0,000	ΔY	-0,000303165
	U	0,047	ΔZ	0,029385114
AYOR	N	0,000	ΔX	0,000
	E	0,000	ΔY	0,000
	U	0,000	ΔZ	0,000
BORR	N	0,000	ΔX	0,1012580423
	E	0,000	ΔY	-0,00014706213
	U	0,132	ΔZ	0,084680501
DENI	N	0,000	ΔX	0,06231650
	E	0,000	ΔY	0,000112745
	U	0,080	ΔZ	0,050166139
MORE	N	0,000	ΔX	0,0485802401
	E	0,000	ΔY	-0,00008611239
	U	0,064	ΔZ	0,0416647675
TORR	N	0,000	ΔX	0,047293217
	E	0,000	ΔY	-0,0005620452
	U	0,060	ΔZ	0,0369193138
UTIE	N	0,000	ΔX	0,0578017569
	E	0,000	ΔY	-0,001219442
	U	0,0750	ΔZ	0,0477752013
VCIA	N	0,000	ΔX	0,0617859
	E	0,000	ΔY	-0,00037086
	U	0,080	ΔZ	0,05081696

Estos incrementos se añaden a las coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 de las estaciones de referencia para obtener las coordenadas del punto de referencia de la antena, ARP. De manera que se utilizarán éstas para comparar con las obtenidas en la aplicación DDBase.

Estación de referencia	Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP	
ALCO	X	4984687,46638
	Y	-41199,1557
	Z	3966605,97668
AYOR	X	4958705,6715
	Y	-91680,7603
	Z	3998023,6184
BORR	X	4899519,39976
	Y	-7115,81745
	Z	4069961,49248
DENI	X	4974895,95079
	Y	9000,75311
	Z	3978089,73117

Estación de referencia	Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP	
MORE	X	4849098,83358
	Y	-8595,418861
	Z	4130985,8777
TORR	X	5033805,3830
	Y	-59823,0840
	Z	3903319,5170
UTIE	X	4922873,2949
	Y	-103857,719819
	Z	4041693,76577
VCIA	X	4932703,015
	Y	-29607,78137
	Z	4029833,078

Se procede al cálculo de la posición estimada de las estaciones ALCO, AYOR, BORR, DENI, MORE, TORR y UTIE manteniendo como estación “fija” VCIA.

Para ejecutar la aplicación DDBase, como ya se ha comentado anteriormente³⁶, se define un fichero ejecutable, con extensión *txt*, que incluye todos los comandos que se van a definir para el procesamiento de los datos.

Entonces se define el fichero ejecutable que se denomina *baseERVA.txt*.

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/FichGPSTk	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile VCIA0630.10o,VCIA	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones, Valencia, Denia, Morella, Alcoy, Ayora, Borriana, Torreveja y Utiel. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile DENI0630.10o,DENI	
--ObsFile MORE0630.10o,MORE	
--ObsFile ALCO0630.10o,ALCO	
--ObsFile AYOR630.10o,AYOR	
--ObsFile BORR0630.10o,BORR	
--ObsFile TORR0630.10o,TORR	
--ObsFile UTIE0630.10o,UTIE	
--NavPath /home/nieves/FichGPSTk	Directorio donde se encuentra el fichero de efemérides.
--NavFile igs15733.sp3	Nombre de los ficheros que contienen las efemérides. Es recomendable utilizar también el día anterior y el día posterior a la observación. Se han utilizado efemérides precisas del Internacional GNSS Service (IGS) ³⁷ .
--NavFile igs15734.sp3	
--NavFile igs15735.sp3	
--EOPPath /home/nieves/FichGPSTk	
--EOPFile EOPP0063.TXT	Nombre del fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo. Estos parámetros utilizados pertenecen a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA) ³⁸ .
--PosXYZ 4932703.0147,-29607.78137,	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación “fija” Valencia.

³⁶ Cfr. Epígrafe 2.4.2. Funcionamiento de DDBase.

³⁷ Efemérides precisas disponibles en <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/product/1573>

³⁸ Parámetros de orientación y rotación del polo disponibles en <ftp://ftp.nima.mil/pub2/gps/eopp>

40299833.07782,VCIA	
--PosPRS DENI	Calculará la posición aproximada mediante la pseudodistancia de las estaciones DENI, MORE, ALCO, AYOR, BORR, TORR y UTIE.
--PosPRS MORE	
--PosPRS ALCO	
--PosPRS AYOR	
--PosPRS BORR	
--PosPRS TORR	
--PosPRS UTIE	
--Fix VCIA	
--Freq L3	Se procesarán los datos de observación como combinación de las frecuencias L1 y L2.
--DT 30	El intervalo del tiempo de observación son 30 segundos.
--BaseOut VCIA-DENI	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VCIA, DENI, MORE, ALCO, AYOR, BORR, TORR y UTIE.
--BaseOut VCIA-MORE	
--BaseOut VCIA-ALCO	
--BaseOut VCIA-AYOR	
--BaseOut VCIA-BORR	
--BaseOut VCIA-TORR	
--BaseOut VCIA-UTIE	
--BaseOut DENI-MORE	
--BaseOut DENI-ALCO	
--BaseOut DENI-AYOR	
--BaseOut DENI-BORR	
--BaseOut DENI-TORR	
--BaseOut DENI-UTIE	
--BaseOut MORE-ALCO	
--BaseOut MORE-AYOR	
--BaseOut MORE-BORR	
--BaseOut MORE-TORR	
--BaseOut MORE-UTIE	
--BaseOut ALCO-AYOR	
--BaseOut ALCO-BORR	
--BaseOut ALCO-TORR	
--BaseOut ALCO-UTIE	
--BaseOut AYOR-BORR	
--BaseOut AYOR-TORR	
--BaseOut AYOR-UTIE	
--BaseOut BORR-TORR	
--BaseOut BORR-UTIE	
--BaseOut TORR-UTIE	
--verbose	Fichero de salida que incluye información más completa que la opción por defecto.

Cuando ya está definido el fichero se debe introducir la siguiente expresión en la línea de comandos, desde el directorio donde se encuentra ubicado éste:

```
DDBase -fbaseERVA.txt
```

Después del proceso de cálculo, en el directorio actual, se crea un fichero con extensión **.log* que contiene los resultados y cualquier otra información de la ejecución de

DDBase. Las opciones *verbose* y *debug* determinan la cantidad de información que contiene este fichero de salida.

Una vez procesado el fichero anterior se obtienen los resultados siguientes:

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
ALCO	X	4984687,17528	X	4984687,46638	dX	-0,2911
	Y	-41199,14183	Y	-41199,1557	dY	-0,01387
	Z	3966605,74764	Z	3966605,97668	dZ	-0,22904
Línea base estimada VCIA – ALCO 82670,4776m.					0,37066 m.	
AYOR	X	4958705,03578	X	4958705,6715	dX	-0,63572
	Y	-91680,57814	Y	-91680,7603	dY	-0,18216
	Z	3998023,03952	Z	3998023,6184	dZ	-0,57888
Línea base estimada VCIA – AYOR 74437,9993m.					0,87887 m.	
BORR	X	4899519,37137	X	4899519,39976	dX	-0,02839
	Y	-7115,84293	Y	-7115,81745	dY	0,02548
	Z	4069961,45057	Z	4069961,49248	dZ	-0,04191
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,4931m.					0,05667 m.	
DENI	X	4974895,92159	X	4974895,95079	dX	-0,02920
	Y	9000,74703	Y	9000,75311	dY	-0,00608
	Z	3978089,71292	Z	3978089,73117	dZ	-0,01825
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8058m.					0,034967 m.	
MORE	X	4849098,69217	X	4849098,83358	dX	-0,14141
	Y	-8595,52015	Y	-8595,418861	dY	0,10129
	Z	4130984,97324	Z	4130985,8777	dZ	-0,90443
Línea base estimada VCIA – MORE 132901,8578m.					0,92100 m.	
TORR	X	5033805,39969	X	5033805,3830	dX	0,01669
	Y	-59823,15172	Y	-59823,0840	dY	0,06772
	Z	3903319,54418	Z	3903319,5170	dZ	0,02718
Línea base estimada VCIA – TORR 164743,2398m.					0,07485 m.	
UTIE	X	4922872,93166	X	4922873,2949	dX	-0,36324
	Y	-103858,01356	Y	-103857,719819	dY	0,29374
	Z	4041693,27944	Z	4041693,76577	dZ	-0,48634
Línea base estimada VCIA – UTIE 75831,3385m.					0,67435 m.	

La estación que presenta peores resultados es MORE, Morella, no siendo la estación más alejada de VCIA, que es la estación considerada como “fija” para el ajuste, pero si es la estación que presenta un mayor desnivel respecto a ésta. Morella presenta una altitud elipsoidal de 1037,55 m. Junto con MORE, las estaciones que presentan errores superiores a los 10 cm son las que tienen mayor altitud elipsoidal: AYOR (h=661,82m.), UTIE (h=799,70m.), ALCO (h=640,09m.).

Para mejorar los resultados se introduce el comando RZD, Residual tropospheric Zenit Delay³⁹, que reduce el retardo troposférico en los receptores debido a estas diferencias de altitud.

Comando	Descripción
--Freq L3	Se procesarán los datos de observación con combinación lineal de las frecuencias L1 y L2.
--RZDIntervals 12 --RZDtimeconst 2.0 --RZDsigma 0.1	Se resuelve una única RZD en cada receptor, para 12 intervalos fijos de tiempo y con un tiempo constante de 2.0 horas.
--DT 30	El intervalo del tiempo de observación son 30 segundos.

Obteniendo los resultados:

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP		
ALCO	X	4984687,346686	X	4984687,46638	dX -0,1197
	Y	-41199,14433	Y	-41199,1557	dY -0,01137
	Z	3966605,85884	Z	3966605,97668	dZ -0,11783
Línea base estimada VCIA – ALCO 82670,5007m.					0,16852 m.
AYOR	X	4958705,56870	X	4958705,6715	dX -0,10280
	Y	-91680,57032	Y	-91680,7603	dY -0,18998
	Z	3998023,43674	Z	3998023,6184	dZ -0,18166
Línea base estimada VCIA – AYOR 74438,0092m.					0,28224 m.
BORR	X	4899519,36399	X	4899519,39976	dX -0,0357
	Y	-7115,85307	Y	-7115,81745	dY 0,03562
	Z	4069961,44814	Z	4069961,49248	dZ -0,04434
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,4917m.					0,06715 m.
DENI	X	4974895,99449	X	4974895,95079	dX -0,04370
	Y	9000,76161	Y	9000,75311	dY -0,00849
	Z	3978089,74367	Z	3978089,73117	dZ -0,0125
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8323m.					0,046235 m.
MORE	X	4849098,60660	X	4849098,83358	dX -0,22698
	Y	-8595,32601	Y	-8595,418861	dY 0,09285
	Z	4130985,58424	Z	4130985,8777	dZ -0,29343
Línea base estimada VCIA – MORE 132902,4074m.					0,38242 m.
TORR	X	5033805,527392	X	5033805,3830	dX 0,14439
	Y	-59823,05999	Y	-59823,0840	dY -0,02401
	Z	3903319,56059	Z	3903319,5170	dZ 0,04359
Línea base estimada VCIA – TORR 164743,2887m.					0,15272 m.
UTIE	X	4922872,81439	X	4922873,2949	dX -0,48051
	Y	-103857,98302	Y	-103857,719819	dY 0,26320
	Z	4041693,49776	Z	4041693,76577	dZ -0,26802
Línea base estimada VCIA – UTIE 75831,3579m.					0,60992 m.

³⁹ Cfr. Epígrafe 2.1. Visión general de DDBase

Y como se puede apreciar mejorando éstos considerablemente, sobre todo en las estaciones que presenta mayor altitud elipsoidal y que tenían los errores mayores.

Según se comenta en el anexo 1, para líneas base largas es preferible facilitar a la aplicación DDBase una posición de calidad de las estaciones que se van a procesar, pues ello influye directamente en la dificultad de la resolución del problema.

De esta manera en el fichero ejecutable *baseERVWXYZ.txt* se modifica el comando que representa la posición de las estaciones a procesar y se añade su posición, de la manera siguiente:

Comando	Descripción
--PosXYZ 4932703.0147,-29607.78137, 40299833.07782,VCIA	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación “fija” Valencia.
--PosXYZ 4974895.95079, 9000.75311,3978089.73117,DENI --PosXYZ 4849098.83358, -8595.418861,4130985.8777,MORE --PosXYZ 4984687.46638, -41199.1557,3966605.97668,ALCO --PosXYZ 4958705.6715, -91680.7603,3998023.6184,AYOR --PosXYZ 4899519.39976 -7115.81745,4069961.49248,BORR --PosXYZ 5033805.3830, -59823.0840,3903319.517,TORR --PosXYZ 4922873.2949, -103857.71982,4041693.76577,UTIE	Se facilita la posición con coordenadas geocéntricas cartesianas de las estaciones que se van a procesar.

En este caso se mejora considerablemente la posición de UTIE, AYOR y DENI. Determinándose las posiciones de las estaciones de referencia, mejorando UTIE, AYOR y DENI, según la tabla que se presenta a continuación:

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
ALCO	X	4984687,24501	X	4984687,46638	dX	-0,22137
	Y	-41199,10869	Y	-41199,1557	dY	-0,04701
	Z	3966605,77639	Z	3966605,97668	dZ	-0,20029
Línea base estimada VCIA – ALCO 82670,4948m.					0,30221 m.	
AYOR	X	4958705,54802	X	4958705,6715	dX	-0,12348
	Y	-91680,72945	Y	-91680,7603	dY	-0,03085
	Z	3998023,49363	Z	3998023,6184	dZ	-0,12477
Línea base estimada VCIA – AYOR 74438,1103m.					0,17823 m.	

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
BORR	X	4899519,32776	X	4899519,39976	dX	-0,0720
	Y	-7115,80837	Y	-7115,81745	dY	0,00907
	Z	4069961,42213	Z	4069961,49248	dZ	-0,07035
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,5122m.						0,10107 m.
DENI	X	4974895,93960	X	4974895,95079	dX	0,01119
	Y	9000,75704	Y	9000,75311	dY	-0,00393
	Z	3978089,71865	Z	3978089,73117	dZ	0,01252
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8168m.						0,01725 m.
MORE	X	4849098,46268	X	4849098,83358	dX	-0,37090
	Y	-8595,38361	Y	-8595,418861	dY	-0,03525
	Z	4130985,55946	Z	4130985,8777	dZ	-0,31821
Línea base estimada VCIA – MORE 132902,4699m.						0,48997 m.
TORR	X	5033805,49608	X	5033805,3830	dX	0,11308
	Y	-59823,09175	Y	-59823,0840	dY	-0,00775
	Z	3903319,56176	Z	3903319,5170	dZ	0,04476
Línea base estimada VCIA – TORR 164743,2744m.						0,121863 m.
UTIE	X	4922872,07799	X	4922873,2949	dX	-0,21691
	Y	-103857,68546	Y	-103857,719819	dY	0,03436
	Z	4041693,56692	Z	4041693,76577	dZ	-0,19885
Línea base estimada VCIA – UTIE 75831,0432m.						0,29627 m.

Como últimas modificaciones se ejecutan los siguientes ficheros:

- *baseERVALI.txt* en el cuál se determina la frecuencia L1 para los datos que serán utilizados por DDBase. De esta manera en general se mejoran los resultados de las estaciones de mayor altitud ortométrica y de forma más notable las estaciones que presentan una altitud similar a VCIA, que es la estación “fija”. A continuación se expone la parte más significativa de este archivo de texto.

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/FichGPSTk	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile VCIA0630.10o,VCIA	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones, Valencia, Denia, Morella, Alcoy, Ayora, Borriana, Torrevieja y Utiel. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile DENI0630.10o,DENI	
--ObsFile MORE0630.10o,MORE	
--ObsFile ALCO0630.10o,ALCO	
--ObsFile AYOR0630.10o,AYOR	
--ObsFile BORR0630.10o,BORR	
--ObsFile TORR0630.10o,TORR	
--ObsFile UTIE0630.10o,UTIE	
--NavPath /home/nieves/FichGPSTk	Directorio donde se encuentra el fichero de efemérides.
--NavFile igs15733.sp3	Nombre de los ficheros que contienen las efemérides. Es

--NavFile igs15734.sp3	recomendable utilizar también el día anterior y el día posterior a la observación. Se han utilizado efemérides precisas del Internacional GNSS Service (IGS).
--NavFile igs15735.sp3	
--EOPPath /home/nieves/FichGPSTk	Ubicación del fichero EOPFile.
--EOPFile EOPP0063.TXT	Nombre del fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo. Estos parámetros utilizados pertenecen a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA).
--PosXYZ 4932703.0147,-29607.78137, 40299833.07782,VCIA	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación “fija” Valencia.
--PosXYZ 4974895.95079, 9000.75311,3978089.73117, DENI	Se facilita la posición con coordenadas geocéntricas cartesianas de las estaciones que se van a procesar.
--PosXYZ 4849098.83358, -8595.418861,4130985.8777,MORE	
--PosXYZ 4984687.46638, -41199.1557,3966605.97668,ALCO	
--PosXYZ 4958705.6715, -91680.7603,3998023.6184,AYOR	
--PosXYZ 4899519.39976 -7115.81745,4069961.49248,BORR	
--PosXYZ 5033805.3830, -59823.0840,3903319.517,TORR	
--PosXYZ 4922873.2949, -103857.71982,4041693.76577,UTIE	
--Fix VCIA	VCIA será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
--Freq L1	Se procesarán los datos de observación con la frecuencia L1.
--RZDIntervals 12	Se resuelve una única RZD en cada receptor, para 12 intervalos fijos de tiempo y con un tiempo constante de 2.0 horas.
--RZDtimeconst 2.0	
--RZDsigma 0.1	
--DT 30	El intervalo del tiempo de observación son 30 segundos.
--BaseOut VCIA-DENI	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VCIA, DENI, MORE, ALCO, AYOR, BORR, TORR y UTIE.
--BaseOut VCIA-MORE	
--BaseOut VCIA-ALCO	
--BaseOut VCIA-AYOR	
--BaseOut VCIA-BORR	
--BaseOut VCIA-TORR	
--BaseOut VCIA-UTIE	
--BaseOut DENI-MORE	
.....	
.....	
.....	
--BaseOut DENI-AYOR	
--BaseOut DENI-BORR	
--BaseOut DENI-TORR	
--BaseOut AYOR-BORR	
--BaseOut AYOR-TORR	
--BaseOut AYOR-UTIE	
--BaseOut BORR-TORR	
--BaseOut BORR-UTIE	
--BaseOut TORR-UTIE	
--verbose	Fichero de salida que incluye información más completa que la opción por defecto.

Siendo los resultados obtenidos los que se presentan a continuación:

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
ALCO	X	4984687,23640	X	4984687,46638	dX	-0,22998
	Y	-41199,12979	Y	-41199,1557	dY	-0,02591
	Z	3966605,81087	Z	3966605,97668	dZ	-0,16581
Línea base estimada VCIA – ALCO 82670,4661m.					0,28470 m.	
AYOR	X	4958705,50612	X	4958705,6715	dX	-0,16538
	Y	-91680,71270	Y	-91680,7603	dY	-0,04759
	Z	3998023,47373	Z	3998023,6184	dZ	-0,14467
Línea base estimada VCIA – AYOR 74438,0903m.					0,22482 m.	
BORR	X	4899519,38562	X	4899519,39976	dX	-0,01414
	Y	-7115,84492	Y	-7115,81745	dY	0,02747
	Z	4069961,45979	Z	4069961,49248	dZ	-0,03269
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,4905m.					0,04498 m.	
DENI	X	4974895,93385	X	4974895,95079	dX	-0,01693
	Y	9000,75850	Y	9000,75311	dY	0,00539
	Z	3978089,73686	Z	3978089,73117	dZ	0,00569
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8022m.					0,01866 m.	
MORE	X	4849098,58767	X	4849098,83358	dX	-0,24591
	Y	-8595,43636	Y	-8595,418861	dY	0,01750
	Z	4130985,58542	Z	4130985,8777	dZ	-0,29224
Línea base estimada VCIA – MORE 132902,4027m.					0,38234 m.	
TORR	X	5033805,42192	X	5033805,3830	dX	0,03892
	Y	-59823,04333	Y	-59823,0840	dY	-0,04067
	Z	3903319,59268	Z	3903319,5170	dZ	0,07568
Línea base estimada VCIA – TORR 164743,1963m.					0,09432 m.	
UTIE	X	4922873,09467	X	4922873,2949	dX	-0,20003
	Y	-103857,69881	Y	-103857,719819	dY	0,02101
	Z	4041693,55717	Z	4041693,76577	dZ	-0,20860
Línea base estimada VCIA – UTIE 75831,0526m.					0,28991 m.	

- *baseERVALIFIX.txt* en el cuál se establece que además de utilizar la frecuencia L1 para las observaciones que serán procesadas por DDBase, se debe fijar ambigüedades. Las modificaciones realizadas en los comandos pertinentes respecto al fichero anterior son las que se presentan a continuación:

Comando	Descripción
--Freq L1	Se procesarán los datos de observación con la frecuencia L1.
--FixBiases	Esta opción indica a DDBase que obligue a que los valores de la ambigüedad sean enteros en la última iteración de la estimación. Fijar ambigüedades
--DT 30	El intervalo del tiempo de observación son 30 segundos.

En general todas las estaciones, excepto AYOR que las coordenadas son muy similares, empeoran los resultados, no es adecuado intentar obligar a la aplicación que fije ambigüedades en líneas bases que tienen unas dimensiones de más pocos kilómetros. Siendo los resultados que se presentan a continuación.

En cuanto a coordenadas y base líneas obtenemos:

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
ALCO	X	4984687,22341	X	4984687,46638	dX	-0,24297
	Y	-41199,14021	Y	-41199,1557	dY	-0,01549
	Z	3966605,79973	Z	3966605,97668	dZ	-0,17695
Línea base estimada VCIA – ALCO 82670,4678m.						0,30097 m.
AYOR	X	4958705,51526	X	4958705,6715	dX	-0,15624
	Y	-91680,76204	Y	-91680,7603	dY	0,00174
	Z	3998023,47526	Z	3998023,6184	dZ	-0,14314
Línea base estimada VCIA – AYOR 74438,1339m.						0,21190 m.
BORR	X	4899519,38243	X	4899519,39976	dX	-0,01733
	Y	-7115,81506	Y	-7115,81745	dY	-0,00239
	Z	4069961,45109	Z	4069961,49248	dZ	-0,04139
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,4980m.						0,04493 m.
DENI	X	4974895,90987	X	4974895,95079	dX	-0,04092
	Y	9000,77558	Y	9000,75311	dY	0,02247
	Z	3978089,71612	Z	3978089,73117	dZ	-0,01505
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8115m.						0,04905 m.
MORE	X	4849098,56555	X	4849098,83358	dX	-0,26803
	Y	-8595,42011	Y	-8595,418861	dY	0,01249
	Z	4130985,55758	Z	4130985,8777	dZ	-0,32012
Línea base estimada VCIA – MORE 132902,3980m.						0,41751 m.
TORR	X	5033805,39912	X	5033805,3830	dX	0,01612
	Y	-59823,09068	Y	-59823,0840	dY	0,00668
	Z	3903319,57065	Z	3903319,5170	dZ	0,05365
Línea base estimada VCIA – TORR 164743,2079m.						0,05641 m.
UTIE	X	4922873,09012	X	4922873,2949	dX	-0,20478
	Y	-103857,53051	Y	-103857,719819	dY	-0,18931
	Z	4041693,55469	Z	4041693,76577	dZ	-0,21108
Línea base estimada VCIA – UTIE 75830,8880m.						0,34975 m.

3.3. RESIDUOS DE DOBLE DIFERENCIAS.

3.3.1. OBTENCIÓN DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS.

La aplicación DDBase mediante las opciones de ficheros de salida que dispone permite obtener el valor de las dobles diferencias, tanto observadas como editadas, utilizadas en el cálculo de la línea base.

Para ello en el fichero ejecutable que se ha de procesar se han de añadir los comandos siguientes:

--RDDFileOut <nombre fichero salida> para dobles diferencias observadas

--DDDFileOut <nombre fichero salida> para dobles diferencias editadas

En ambos casos se obtiene un fichero de 12 campos, en cuya cabecera se describe cada uno de ellos:

Campo	Descripción
DDD	Etiqueta que indica el tipo de fichero.
sit1	ID de la primera estación
sit2	ID de la segunda estación
sat	ID del primer satélite
ref	ID de segundo satélite utilizado como referencia para DD
week	Número de la semana GPS
sec wk	Segundo de la semana GPS
Campo	Descripción
DDL1_m	Doble diferencia editada con la portadora L1, en metros
DDL2_m	Doble diferencia editada con la portadora L2, en metros
DDER_m	Doble diferencia estimada mediante las efemérides, en metros
resL1_m	Diferencia entre DDL1 y DDER, en metros
resL2_m	Diferencia entre DDL2 y DDER, en metros

Se muestra a continuación la primera parte del fichero de salida de dobles diferencias editadas de la línea base ALCO-AYOR a modo de ejemplo.

```
# DDBase, ARL:UT DD phase estimation processor
DDD sit1 sit2 sat ref week sec_wk DDL1_m DDL2_m DDER_m resL1_m resL2_m
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 400950.000 -7162.482801 -7162.441350 -7162.477345 -0.005456 0.035996
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 400980.000 -7155.284195 -7162.441350 -7155.281510 -0.002685 -7.159840
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401010.000 -7147.419288 -7162.441350 -7147.415827 -0.003462 -15.025523
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401040.000 -7138.883322 -7162.441350 -7138.880396 -0.002925 -23.560953
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401070.000 -7129.678199 -7162.441350 -7129.675345 -0.002854 -32.766004
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401100.000 -7119.806585 -7162.441350 -7119.800827 -0.005758 -42.640523
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401130.000 -7109.254776 -7162.441350 -7109.257022 0.002246 -53.184327
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401160.000 -7098.048653 -7162.441350 -7098.044140 -0.004513 -64.397210
```

DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401190.000	-7086.169947	-7162.441350	-7086.162416	-0.007531	-76.278934
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401220.000	-7073.612187	-7162.441350	-7073.612113	-0.000074	-88.829236
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401250.000	-7060.389835	-7162.441350	-7060.393525	0.003690	-102.047824
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401280.000	-7046.505367	-7162.441350	-7046.506973	0.001606	-115.934377
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401310.000	-7031.953263	-7162.441350	-7031.952806	-0.000457	-130.488544
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401340.000	-7016.730094	-7162.441350	-7016.731404	0.001310	-145.709946
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401370.000	-7000.837159	-7162.441350	-7000.843176	0.006017	-161.598174
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401400.000	-6984.283299	-7162.441350	-6984.288561	0.005261	-178.152789
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401430.000	-6967.058763	-7162.441350	-6967.068027	0.009264	-195.373322
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401460.000	-6949.175918	-7162.441350	-6949.182075	0.006158	-213.259274
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401490.000	-6930.621253	-7162.441350	-6930.631236	0.009983	-231.810114
DDD ALCO AYOR G02 G10 1573 401520.000	-6911.404473	-7162.441350	-6911.416070	0.011597	-251.025279

Otra posibilidad que ofrece la aplicación DDBase y que resulta bastante interesante en el estudio la diferenciación de observables es el cálculo de los residuos de dobles diferencias. Estos residuos nos permiten conocer si existe efecto multipath y ruido en las observaciones GPS. Mediante el comando:

```
--DDRFileOut <nombre fichero salida>
```

se obtiene un fichero de 11 campos

Campo	Descripción
RES	Etiqueta que indica el tipo de fichero.
site	ID de la primera estación
site	ID de la segunda estación
sat	ID del primer satélite
sat	ID de segundo satélite utilizado como referencia para DD
Campo	Descripción
week	Número de la semana GPS
sec wk	Segundo de la semana GPS
count	Nº de época
Data	Doble diferencia editada con L1 utilizada en la estimación, en metros
Estimate	Doble diferencia obtenida del procesamiento y estimación de la aplicación DDBase, en metros
Residual	Diferencia entre doble diferencia editada con L1 y calculada estimada con DDBase, en metros

En este caso, a modo de ejemplo, se muestra a continuación una primera parte del fichero de salida de residuos de dobles diferencias de la línea base ALCO-AYOR.

```
# DDBase, ARL:UT DD phase estimation processor
```

RES	site	site	sat	sat	week	sec_wk	count	Data	Estimate	Residual
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345600.000	0	-28574.329820	-28574.351782	0.021962
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345600.000	0	43872.581732	43872.557214	0.024518
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345630.000	1	-28511.929284	-28511.948556	0.019271
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345630.000	1	43647.606547	43647.584454	0.022092
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345660.000	2	-28449.219143	-28449.237413	0.018270
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345660.000	2	43421.039768	43421.020078	0.019690
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345690.000	3	-28386.198257	-28386.216829	0.018572
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345690.000	3	43192.893760	43192.872721	0.021039
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345720.000	4	-28322.872714	-28322.885294	0.012581
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345720.000	4	42963.170811	42963.151121	0.019690
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345750.000	5	-28259.221772	-28259.241309	0.019536
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345750.000	5	42731.882145	42731.864114	0.018031
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345780.000	6	-28195.257040	-28195.283386	0.026346
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345780.000	6	42499.044323	42499.020635	0.023687
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345810.000	7	-28130.986510	-28131.010053	0.023543
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345810.000	7	42264.653732	42264.629720	0.024012
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345840.000	8	-28066.399717	-28066.419847	0.020131
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345840.000	8	42028.723691	42028.700499	0.023192
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345870.000	9	-28001.495136	-28001.511321	0.016185
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345870.000	9	41791.263149	41791.242203	0.020945
RES	ALCO	AYOR	G02	G29	1573	345900.000	10	-27936.263447	-27936.283040	0.019593
RES	ALCO	AYOR	G30	G29	1573	345900.000	10	41552.290749	41552.264160	0.026589

De esta manera se han vuelto a procesar los ficheros ejecutables de las líneas base en estudio añadiendo los comandos mencionados con anterioridad, siendo los ficheros utilizados en el procesamiento los siguientes:

- red ERVA

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/FichGPSTk	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile VCIA0630.10o,VCIA	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones, Valencia, Denia, Morella, Alcoy, Ayora, Borriana, Torreveja y Utiel. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile DENI0630.10o,DENI	
--ObsFile MORE0630.10o,MORE	
--ObsFile ALCO0630.10o,ALCO	
--ObsFile AYOR630.10o,AYOR	
--ObsFile BORR0630.10o,BORR	
--ObsFile TORR0630.10o,TORR	
--ObsFile UTIE0630.10o,UTIE	
--NavPath /home/nieves/FichGPSTk	Directorio donde se encuentra el fichero de efemérides.
--NavFile igs15733.sp3	Nombre de los ficheros que contienen las efemérides. Es recomendable utilizar también el día anterior y el día posterior a la observación. Se han utilizado efemérides precisas del Internacional GNSS Service (IGS).
--NavFile igs15734.sp3	
--NavFile igs15735.sp3	
--EOPPath /home/nieves/FichGPSTk	Ubicación del fichero EOPFile.
--EOPFile EOPP0063.TXT	Nombre del fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo. Estos parámetros utilizados pertenecen a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA).
--PosXYZ 4932703.0147,-29607.78137,	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación “fija” Valencia.

40299833.07782,VCIA	
--PosXYZ 4974895.95079, 9000.75311,3978089.73117,DENI	Se facilita la posición con coordenadas geocéntricas cartesianas de las estaciones que se van a procesar.
--PosXYZ 4849098.83358, -8595.418861,4130985.8777,MORE	
--PosXYZ 4984687.46638, -41199.1557,3966605.97668,ALCO	
--PosXYZ 4958705.6715, -91680.7603,3998023.6184,AYOR	
--PosXYZ 4899519.39976 -7115.81745,4069961.49248,BORR	
--PosXYZ 5033805.3830, -59823.0840,3903319.517,TORR	
--PosXYZ 4922873.2949, -103857.71982,4041693.76577,UTIE	
--Fix VCIA	VCIA será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
--Freq L1	Se procesarán los datos de observación con la frecuencia L1.
--RZDIntervals 12	Se resuelve una única RZD en cada receptor, para 12 intervalos fijos de tiempo y con un tiempo constante de 2.0 horas.
--RZDtimeconst 2.0	
--RZDsigma 0.1	
--DT 30	El intervalo del tiempo de observación son 30 segundos.
--BaseOut VCIA-DENI	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VCIA, DENI, MORE, ALCO, AYOR, BORR, TORR y UTIE.
--BaseOut VCIA-MORE	
--BaseOut VCIA-ALCO	
--BaseOut VCIA-AYOR	
--BaseOut VCIA-BORR	
--BaseOut VCIA-TORR	
--BaseOut VCIA-UTIE	
--BaseOut DENI-MORE	
.....	
.....	
--BaseOut DENI-AYOR	
--BaseOut DENI-BORR	
--BaseOut DENI-TORR	
--BaseOut AYOR-BORR	
--BaseOut AYOR-TORR	
--BaseOut AYOR-UTIE	
--BaseOut BORR-TORR	
--BaseOut BORR-UTIE	
--BaseOut TORR-UTIE	
--RDDFileOut ERVAL1R	Se muestran las dobles diferencias observadas y editadas que se han utilizado en el procesamiento de la línea base.
--DDDFileOut ERVAL1D	
--DDRFileOut ERVAL1Residuos	Se calculan los valores residuales obtenidos después de fijar ambigüedades.
--Log ERVAL1.log	
--verbose	Fichero de salida que incluye información más completa que la opción por defecto.

Una vez ejecutados estos ficheros, se obtienen los residuos de las dobles diferencias que intervienen en el cálculo de las líneas base, así como los ficheros propios de resultados e información de cada línea procesada.

3.3.2. OBTENCIÓN DE GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS

A continuación para un mejor análisis de resultados se estudian los residuos obtenidos mediante la elaboración de unas gráficas con la aplicación gnuplot⁴⁰.

Previamente para poder graficar los residuos de las dobles diferencias correspondientes a cada pareja de satélites según la línea base en estudio, se crean unos archivos *.org donde se extraen los residuos correspondientes ordenados según dichas parejas. Para saber qué combinación de parejas de satélite han intervenido en el cálculo debemos consultar el fichero de información y resultados *.log⁴¹, en el cuál encontramos el resumen de dobles diferencias con las parejas de satélites utilizadas y el número de dobles diferencias procesadas. Se muestran dichos resúmenes según las líneas base de la Red ERVA:

- **Red ERVA**

Double differences summary:

```
1 VCIA ALCO G02 G13 232 1614 - 1845
2 VCIA ALCO G03 G16 247 537 - 783
3 VCIA ALCO G03 G19 321 784 - 1104
4 VCIA ALCO G04 G11 67 1398 - 1464
5 VCIA ALCO G05 G10 367 1846 - 2212
6 VCIA ALCO G05 G13 60 1785 - 1845 (1786:1)
7 VCIA ALCO G06 G16 247 537 - 783
8 VCIA ALCO G07 G16 102 682 - 783
9 VCIA ALCO G07 G19 68 784 - 851
10 VCIA ALCO G08 G10 367 1846 - 2212
11 VCIA ALCO G09 G12 304 2576 - 2879
12 VCIA ALCO G14 G11 50 1230 - 1279
13 VCIA ALCO G17 G11 235 1230 - 1464
14 VCIA ALCO G20 G11 235 1230 - 1464
15 VCIA ALCO G14 G12 254 2626 - 2879
16 VCIA ALCO G26 G12 304 2576 - 2879
17 VCIA ALCO G27 G12 304 2576 - 2879
18 VCIA ALCO G18 G15 286 2290 - 2575
19 VCIA ALCO G24 G15 98 2213 - 2310
20 VCIA ALCO G27 G15 363 2213 - 2575
```

⁴⁰ Cfr. Anexo 4. Manejo de Gnuplot.

⁴¹ Cfr 2.4.3. Fichero de información y resultados *.log

21 VCIA ALCO G28 G15 295 2213 - 2508 (2507:1)
22 VCIA ALCO G18 G16 247 537 - 783
23 VCIA ALCO G16 G21 432 352 - 783
24 VCIA ALCO G24 G16 198 537 - 734
25 VCIA ALCO G24 G21 185 352 - 536
26 VCIA ALCO G21 G29 265 271 - 536 (272:1)
27 VCIA ALCO G31 G21 185 352 - 536
28 VCIA ALCO G28 G32 125 1105 - 1229
29 VCIA ALCO G30 G29 352 0 - 351
30 VCIA ALCO G31 G29 352 0 - 351
31 VCIA AYOR G02 G12 111 2769 - 2879
32 VCIA AYOR G08 G10 368 1844 - 2211
33 VCIA AYOR G09 G12 304 2576 - 2879
34 VCIA AYOR G26 G12 304 2576 - 2879
35 VCIA AYOR G27 G12 304 2576 - 2879
36 VCIA AYOR G23 G13 379 1465 - 1843
37 VCIA AYOR G21 G16 384 400 - 783
38 VCIA AYOR G30 G16 77 400 - 476
39 VCIA AYOR G20 G32 124 1105 - 1228
40 VCIA AYOR G21 G29 128 271 - 399 (272:1)
41 VCIA AYOR G28 G32 124 1105 - 1228
42 VCIA AYOR G30 G29 400 0 - 399
43 VCIA BORR G02 G12 115 2765 - 2879
44 VCIA BORR G03 G19 324 782 - 1105
45 VCIA BORR G04 G11 62 1404 - 1465
46 VCIA BORR G04 G13 381 1466 - 1846
47 VCIA BORR G05 G10 364 1847 - 2210
48 VCIA BORR G05 G13 68 1779 - 1846
49 VCIA BORR G07 G16 107 675 - 781
50 VCIA BORR G08 G10 364 1847 - 2210
51 VCIA BORR G09 G12 303 2577 - 2879
52 VCIA BORR G20 G11 234 1232 - 1465
53 VCIA BORR G11 G32 360 1106 - 1465
54 VCIA BORR G26 G12 303 2577 - 2879
55 VCIA BORR G27 G12 303 2577 - 2879
56 VCIA BORR G12 G29 315 0 - 314
57 VCIA BORR G23 G13 381 1466 - 1846
58 VCIA BORR G17 G15 259 2318 - 2576
59 VCIA BORR G18 G15 282 2295 - 2576
60 VCIA BORR G22 G15 112 2465 - 2576
61 VCIA BORR G24 G15 94 2211 - 2304
62 VCIA BORR G27 G15 366 2211 - 2576
63 VCIA BORR G21 G16 380 402 - 781
64 VCIA BORR G30 G16 76 402 - 477
65 VCIA BORR G28 G19 117 989 - 1105
66 VCIA BORR G21 G29 130 271 - 401 (272:1)
67 VCIA BORR G28 G32 126 1106 - 1231
68 VCIA BORR G30 G29 402 0 - 401
69 VCIA DENI G06 G03 122 717 - 838
70 VCIA DENI G18 G03 122 717 - 838
71 VCIA DENI G22 G03 122 717 - 838
72 VCIA DENI G04 G12 65 2797 - 2861
73 VCIA DENI G04 G13 381 1465 - 1845
74 VCIA DENI G05 G08 355 1846 - 2200
75 VCIA DENI G06 G16 266 451 - 716
76 VCIA DENI G22 G12 197 2576 - 2772
77 VCIA DENI G26 G12 304 2576 - 2879
78 VCIA DENI G27 G12 304 2576 - 2879

79 VCIA DENI G30 G12 304 2576 - 2879
80 VCIA DENI G18 G15 51 2291 - 2341
81 VCIA DENI G27 G15 375 2201 - 2575
82 VCIA DENI G16 G21 363 353 - 716 (450:1)
83 VCIA DENI G24 G16 266 451 - 716
84 VCIA DENI G24 G21 97 353 - 449
85 VCIA DENI G21 G29 178 271 - 449 (272:1)
86 VCIA DENI G31 G21 97 353 - 449
87 VCIA DENI G28 G32 172 1104 - 1275
88 VCIA DENI G30 G29 353 0 - 352
89 VCIA MORE G02 G12 113 2767 - 2879
90 VCIA MORE G03 G19 325 781 - 1105
91 VCIA MORE G06 G16 379 402 - 780
92 VCIA MORE G08 G10 362 1847 - 2208
93 VCIA MORE G09 G12 304 2576 - 2879
94 VCIA MORE G18 G12 151 2576 - 2726
95 VCIA MORE G26 G12 304 2576 - 2879
96 VCIA MORE G27 G12 304 2576 - 2879
97 VCIA MORE G30 G12 304 2576 - 2879
98 VCIA MORE G27 G15 367 2209 - 2575
99 VCIA MORE G30 G16 73 402 - 474
100 VCIA MORE G21 G29 130 271 - 401 (272:1)
101 VCIA MORE G30 G29 402 0 - 401
102 VCIA TORR G03 G16 249 536 - 784
103 VCIA TORR G03 G21 57 479 - 535
104 VCIA TORR G05 G10 368 1845 - 2212
105 VCIA TORR G06 G16 249 536 - 784
106 VCIA TORR G08 G10 368 1845 - 2212
107 VCIA TORR G09 G12 304 2576 - 2879
108 VCIA TORR G22 G12 139 2576 - 2714
109 VCIA TORR G27 G12 304 2576 - 2879
110 VCIA TORR G27 G15 363 2213 - 2575
111 VCIA TORR G18 G16 249 536 - 784
112 VCIA TORR G24 G21 186 350 - 535
113 VCIA TORR G31 G21 186 350 - 535
114 VCIA UTIE G02 G12 109 2771 - 2879
115 VCIA UTIE G08 G10 366 1845 - 2210
116 VCIA UTIE G08 G15 161 2211 - 2371
117 VCIA UTIE G09 G12 305 2575 - 2879
118 VCIA UTIE G26 G12 305 2575 - 2879
119 VCIA UTIE G27 G12 305 2575 - 2879
120 VCIA UTIE G17 G15 253 2322 - 2574
121 VCIA UTIE G18 G16 336 447 - 782
122 VCIA UTIE G21 G16 382 401 - 782
123 VCIA UTIE G24 G16 334 401 - 734
124 VCIA UTIE G30 G16 74 401 - 474
125 VCIA UTIE G21 G29 129 271 - 400 (272:1)
126 VCIA UTIE G30 G29 401 0 - 400

Una vez que conocemos las dobles diferencias que intervienen en el cálculo de cada línea base extraemos del archivo de residuos correspondiente la identificación de cada satélite, el tiempo GPS y los valores de dichos residuos para cada pareja de satélite. De esta manera se genera un archivo de texto con extensión .org.

Para la creación de estos archivos se han utilizado elementos básicos de programación gawk⁴². Aunque se han escrito para todas las líneas base de la Red ERVA: VCIA-ALCO, VCIA-MORE, VCIA-BORR, VCIA-DENI, VCIA-TORR, VCIA-UTIE se presentan a continuación, a modo de ejemplo, solamente las secuencias⁴³ escritas en la línea de comando del terminal utilizadas para la creación de dichos archivos con los residuos de dobles diferencias para línea base VCIA-ALCO de la Red ERVA.

- **Red ERVA: línea base VCIA-ALCO**

```
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G02" && $5=="G13") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG2G13.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G03" && $5=="G16") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG3G16.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G03" && $5=="G19") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG3G19.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G04" && $5=="G11") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG4G11.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G05" && $5=="G10") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG5G10.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G05" && $5=="G13") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG5G13.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G06" && $5=="G16") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG6G16.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G07" && $5=="G16") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG7G16.org
nieves@nieves-desktop:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
```

⁴² HERNÁNDEZ-PAJARES, M. JUAN ZORNOZA, J.M., SANZ SUBIRANA, J. Grupo de Astronomía y Geomática. Práctica 1.: Herramientas informáticas "GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes". Centro de Publicaciones del Campus Norte (CPET). UPC.

⁴³ - Instrucción **cat**: Volcar el contenido de un archivo.

- Comando **|** permite conectar la salida de un proceso con la entrada de otro.

- **Gawk** es una versión evolucionada del awk

- **gawk '{ print \$2,\$3,\$4,\$5,\$7,\$11}'>V-ALG2G13.org**: Generar (Imprimir) el fichero V-ALG2G13 con los campos segundo, tercero, cuarto, quinto, séptimo y undécimo del fichero ERVAL1Residuos.

- **cat ERVAL1Residuos | gawk '{if (\$2=="VCIA" && \$3=="ALCO" && \$4=="G02" && \$5=="G13") print \$2,\$3,\$4,\$5,\$7,\$11}'>V-ALG2G13.org**: Generar (Imprimir) el fichero V-ALG2G13, con los campos segundo, tercero, cuarto, quinto, séptimo y undécimo del fichero ERVAL1Residuos, seleccionando solamente los datos de las estaciones VCIA y ALCO con los satélites G02 y G13.

- Instrucción **man gawk**: acceso a las páginas del manual del gawk.

```

cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G07" && $5=="G19") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG7G19.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G08" && $5=="G10") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG8G10.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G09" && $5=="G12") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG9G12.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G14" && $5=="G11") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG14G11.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G17" && $5=="G11") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG17G11.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G20" && $5=="G11") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG20G11.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G14" && $5=="G12") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG14G12.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G26" && $5=="G12") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG26G12.org
nieves@nieves-desktp:~/FichGPSTk/RDD/ERVA$
cat ERVAL1Residuos | gawk '{if ($2=="VCIA" && $3=="ALCO" && $4=="G27" && $5=="G12") print
$2,$3,$4,$5,$7,$11}'>V-ALG27G12.org

```

Posteriormente, mediante la aplicación gnuplot se realiza el dibujo de las gráficas correspondientes con los archivos que se han obtenido. Para la ejecución⁴⁴ de gnuplot se crea un fichero script que contiene los comandos necesarios para la realización de las gráficas que queremos obtener. Debido a la amplitud del intervalo que se ha procesado, desde las 00:00:00h del día 4 de Marzo del 2010 hasta las 23:59:30 h del mismo día, y para permitir una mejor visualización de las gráficas, éstas se han dividido en dos intervalos de 12 horas cada uno de ellos, para casi la totalidad de las líneas base de la Red ERVA, modificándose alguno de éstos en función de las dobles diferencias procesadas:

- 1^{er} intervalo correspondiente a 00:00:00h hasta 12:00:00h en segundos GPS
[345600:388785]
- 2^o intervalo correspondiente a 12:00:00h hasta 23:59:30h en segundos GPS
[388785:431970]

⁴⁴ Cfr. Anexo 4. Manejo de gráficas con gnuplot.

Como ejemplo se muestran los ficheros scripts de la Red ERVA correspondientes a las 12 primeras horas de observación, según las distintas líneas base que componen la red.

- **Red ERVA: línea base VCIA-ALCO**

```

set grid
set xrange[345600:389520]
set title 'Residuos Dobles Diferencias Red ERVA'
set xtics 345600,3200,389520
set ytics 0.05
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos VCIA-ALCOY (m)'
set key box
plot 'V-ALG18G16.org' using 5:6 with lines lt 1 title 'V-ALG18G16','V-ALG16G21.org' using 5:6 with
lines lt 2 title 'V-ALG16G21','V-ALG24G16.org' using 5:6 with lines lt 3 title 'V-ALG24G16','V-
ALG24G21.org' using 5:6 with lines lt 4 title 'V-ALG24G21','V-ALG21G29.org' using 5:6 with lines lt
5 title 'V-ALG21G29','V-ALG31G21.org' using 5:6 with lines lt 6 title 'V-ALG31G21','V-
ALG28G32.org' using 5:6 with lines lt 7 title 'V-ALG28G32','V-ALG30G29.org' using 5:6 with lines lt
8 title 'V-ALG30G29','V-ALG31G29.org' using 5:6 with lines lt 9 title 'V-ALG31G29','V-
ALG3G16.org' using 5:6 with lines lt 10 title 'V-ALG3G16','V-ALG3G19.org' using 5:6 with lines lt
11 title 'V-ALG3G19','V-ALG6G16.org' using 5:6 with lines lt 12 title 'V-ALG6G16','V-ALG7G16.org'
using 5:6 with lines lt 13 title 'V-ALG7G16','V-ALG7G19.org' using 5:6 with lines lt 14 title 'V-
ALG7G19','V-ALG14G11.org' using 5:6 with lines lt 15 title 'V-ALG14G11','V-ALG17G11.org' using
5:6 with lines lt 16 title 'V-ALG17G11','V-ALG20G11.org' using 5:6 with lines lt 17 title 'V-
ALG20G11'
set terminal postscript color enhanced
set output 'ERVAL1.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit

```

- **Red ERVA: línea base VCIA-AYOR**

```

set grid
set xrange[345600:388785]
set title 'Residuos Dobles Diferencias Red ERVA'
set xtics 345600,3200,388785
set ytics 0.01
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos VCIA-AYORA (m)'
set key box
plot 'V-AYG21G16.org' using 5:6 with lines lt 1 title 'V-AYG21G16','V-AYG30G16.org' using 5:6
with lines lt 2 title 'V-AYG30G16','V-AYG20G32.org' using 5:6 with lines lt 3 title 'V-AYG20G32','V-
AYG21G29.org' using 5:6 with lines lt 4 title 'V-AYG21G29','V-AYG28G32.org' using 5:6 with lines
lt 5 title 'V-AYG28G32','V-AYG30G29.org' using 5:6 with lines lt 6 title 'V-AYG30G29'
set terminal postscript color enhanced
set output 'ERVAL1.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit

```

- **Red ERVA: línea base VCIA-MORE**

```

set grid
set xrange[345600:388785]
set title 'Residuos Dobles Diferencias Red ERVA'
set xtics 345600,3200,388785
set ytics 0.01
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos VCIA-MORE (m)'
set key box
plot 'V-MG3G19.org' using 5:6 with lines lt 1 title 'V-MG3G19','V-MG6G16.org' using 5:6 with
lines lt 2 title 'V-MG6G16','V-MG30G16.org' using 5:6 with lines lt 3 title 'V-MG30G16','V-
MG21G29.org' using 5:6 with lines lt 4 title 'V-MG21G29','V-MG30G29.org' using 5:6 with lines lt
5 title 'V-MG30G29'
set terminal postscript color enhanced
set output 'ERVAL1.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit

```

- **Red ERVA: línea base VCIA-BORR**

```

set grid
set xrange[345600:389550]
set title 'Residuos Dobles Diferencias Red ERVA'
set xtics 345600,3200,389550
set ytics 0.01
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos VCIA-BORR (m)'
set key box
plot 'V-BG3G19.org' using 5:6 with lines lt 1 title 'V-BG3G19','V-BG4G11.org' using 5:6 with lines lt
2 title 'V-BG4G11','V-BG7G16.org' using 5:6 with lines lt 3 title 'V-BG7G16','V-BG20G11.org' using
5:6 with lines lt 4 title 'V-BG20G11','V-BG11G32.org' using 5:6 with lines lt 5 title 'V-BG11G32','V-
BG12G29.org' using 5:6 with lines lt 6 title 'V-BG12G29','V-BG21G16.org' using 5:6 with lines lt 7
title 'V-BG21G16','V-BG30G16.org' using 5:6 with lines lt 8 title 'V-BG30G16','V-BG28G19.org'
using 5:6 with lines lt 9 title 'V-BG28G19','V-BG28G32.org' using 5:6 with lines lt 10 title 'V-
BG28G19','V-BG30G29.org' using 5:6 with lines lt 11 title 'V-BG30G29','V-BG21G29.org' using 5:6
with lines lt 12 title 'V-BG21G29'
set terminal postscript color enhanced
set output 'ERVAL1.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit

```

- **Red ERVA: línea base VCIA-DENI**

```

set grid
set xrange[345600:388785]
set title 'Residuos Dobles Diferencias Red ERVA'
set xtics 345600,3200,388785
set ytics 0.01
set mxtics 1

```

```

set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos VCIA-DENIA (m)'
set key box
plot 'V-DG6G3.org' using 5:6 with lines lt 1 title 'V-DG6G3','V-DG18G3.org' using 5:6 with lines lt 2
title 'V-DG18G3','V-DG22G3.org' using 5:6 with lines lt 3 title 'V-DG22G3','V-DG6G16.org' using
5:6 with lines lt 4 title 'V-DG6G16','V-DG16G21.org' using 5:6 with lines lt 5 title 'V-DG16G21','V-
DG24G16.org' using 5:6 with lines lt 6 title 'V-DG24G16','V-DG24G21.org' using 5:6 with lines lt 7
title 'V-DG24G21','V-DG21G29.org' using 5:6 with lines lt 8 title 'V-DG21G29','V-DG31G21.org'
using 5:6 with lines lt 9 title 'V-DG31G21','V-DG28G32.org' using 5:6 with lines lt 10 title 'V-
DG28G32','V-DG30G29.org' using 5:6 with lines lt 11 title 'V-DG30G29'
set terminal postscript color enhanced
set output 'ERVAL1.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit

```

- **Red ERVA: línea base VCIA-TORR**

```

set grid
set xrange[345600:388785]
set title 'Residuos Dobles Diferencias Red ERVA'
set xtics 345600,3200,388785
set ytics 0.01
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos VCIA-TORR (m)'
set key box
plot 'V-TG3G16.org' using 5:6 with lines lt 1 title 'V-TG3G16','V-TG3G21.org' using 5:6 with lines lt
2 title 'V-TG3G21','V-TG6G16.org' using 5:6 with lines lt 3 title 'V-TG6G16','V-TG18G16.org' using
5:6 with lines lt 4 title 'V-TG18G16','V-TG24G21.org' using 5:6 with lines lt 5 title 'V-TG24G21','V-
TG31G21.org' using 5:6 with lines lt 6 title 'V-TG31G21'
set terminal postscript color enhanced
set output 'ERVAL1.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit

```

- **Red ERVA: línea base VCIA-UTIE**

```

set grid
set xrange[345600:388785]
set title 'Residuos Dobles Diferencias Red ERVA'
set xtics 345600,3200,388785
set ytics 0.01
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos VCIA-TORR (m)'
set key box
plot 'V-TG3G16.org' using 5:6 with lines lt 1 title 'V-TG3G16','V-TG3G21.org' using 5:6 with lines lt
2 title 'V-TG3G21','V-TG6G16.org' using 5:6 with lines lt 3 title 'V-TG6G16','V-TG18G16.org' using
5:6 with lines lt 4 title 'V-TG18G16','V-TG24G21.org' using 5:6 with lines lt 5 title 'V-TG24G21','V-
TG31G21.org' using 5:6 with lines lt 6 title 'V-TG31G21'
set terminal postscript color enhanced

```



```
set output 'ERVAL1.ps'  
replot  
reset  
set terminal x11  
exit
```

Una vez creados los ficheros script, éstos se ejecutan⁴⁵ escribiendo desde la línea de comandos del terminal la expresión siguiente:

```
gnuplot > load 'fichero script'
```

Las gráficas obtenidas se muestran en el siguiente epígrafe 3.4. Análisis de los resultados.

3.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

La aplicación DDBase del proyecto GPSTk resulta muy interesante en la faceta que tiene como software libre, en continuo desarrollo y que puede funcionar bajo cualquier plataforma. Además de que su manejo y ejecución no son especialmente complicados, sobre todo en los casos más habituales, ya que los valores por defecto de los comandos en general son los que mejor funcionan. Aún así permite cierta personalización del trabajo a ejecutar por la multitud de funcionalidades que permite.

Para redes, como el caso de la red ERVA, que tienen un mayor número de vértices el posicionamiento se complica. Se puede observar como estaciones que tenían un resultado aceptable, al ser procesadas anteriormente en el Trabajo de Investigación, empeoran dicho valor en la mayoría de los casos.

Para la red ERVA, y en general para otras redes, que tienen diferencias acusadas de altitud entre sus diversas estaciones se necesita aplicar la funcionalidad disponible Residual

⁴⁵ Cfr. Anexo 4. Manejo de gráficas con gnuplot.

tropospheric Zenit Delay, RZD. En casos anteriores no ha sido necesaria esta corrección pues las altitudes de las estaciones que se estaban utilizando eran aproximadamente entre, 60m y 70m de altitud ortométrica, ya que DENI, VCIA y BORR tienen respectivamente 69,67m, 62,95m y 72,90m.

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
ALCO	X	4984687,23640	X	4984687,46638	dX	-0,22998
	Y	-41199,12979	Y	-41199,1557	dY	-0,02591
	Z	3966605,81087	Z	3966605,97668	dZ	-0,16581
Línea base estimada VCIA – ALCO 82670,4661m.					0,28470 m.	
AYOR	X	4958705,50612	X	4958705,6715	dX	-0,16538
	Y	-91680,71270	Y	-91680,7603	dY	-0,04759
	Z	3998023,47373	Z	3998023,6184	dZ	-0,14467
Línea base estimada VCIA – AYOR 74438,0903m.					0,22482 m.	
BORR	X	4899519,38562	X	4899519,39976	dX	-0,01414
	Y	-7115,84492	Y	-7115,81745	dY	0,02747
	Z	4069961,45979	Z	4069961,49248	dZ	-0,03269
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,4905m.					0,04498 m.	
DENI	X	4974895,93385	X	4974895,95079	dX	-0,01693
	Y	9000,75850	Y	9000,75311	dY	0,00539
	Z	3978089,73686	Z	3978089,73117	dZ	0,00569
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8022m.					0,01866 m.	
MORE	X	4849098,58767	X	4849098,83358	dX	-0,24591
	Y	-8595,43636	Y	-8595,418861	dY	0,01750
	Z	4130985,58542	Z	4130985,8777	dZ	-0,29224
Línea base estimada VCIA – MORE 132902,4027m.					0,38234 m.	
TORR	X	5033805,42192	X	5033805,3830	dX	0,03892
	Y	-59823,04333	Y	-59823,0840	dY	-0,04067
	Z	3903319,59268	Z	3903319,5170	dZ	0,07568
Línea base estimada VCIA – TORR 164743,1963m.					0,09432 m.	
UTIE	X	4922873,09467	X	4922873,2949	dX	-0,20003
	Y	-103857,69881	Y	-103857,719819	dY	0,02101
	Z	4041693,55717	Z	4041693,76577	dZ	-0,20860
Línea base estimada VCIA – UTIE 75831,0526m.					0,28991 m.	

La estación de MORE tiene una altitud de 1037,55m, UTIE se encuentra a 799,70m y las estaciones de ALCO y AYOR están a 640,10m y 661,82m respectivamente. Debido a esta diferencia de altitud el retardo troposférico influye muy negativamente en el resultado final en mayor cuantía que la distancia de la línea base sea larga, por tanto se recomienda hacer uso de esta corrección.

En relación a esta suposición se expone el resultado del procesamiento de la siguiente línea base:

ALCO-AYOR cuya altitud ortométrica es muy similar y la línea base tiene una longitud de 65 kilómetros, y al igual que en el ejemplo anterior disminuye el error de posicionamiento.

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
AYOR	X	4958705,69875	X	4958705,6715	dX	0,02725
	Y	-91680,74392	Y	-91680,7603	dY	-0,01638
	Z	3998023,60377	Z	3998023,6184	dZ	-0,01502
Línea base estimada ALCO – AYOR 64888,4450m.						0,03516m

Se ha consultado las secciones dedicadas a las preguntas/respuestas de los usuarios del software “Ask a questions” dentro de la página del proyecto GPS Toolkit, <http://www.gpstk.org/>.

En éstas se han encontrado respuestas a varios problemas que se planteaban en un principio, tal y como el concerniente a la consideración altura de la antena por parte del software y el tratamiento que se debe dar a este problema⁴⁶.

De la misma manera otros usuarios, comentan que tienen errores superiores a 10cm⁴⁷, en líneas bases cortas y otro usuario obtiene una diferencia de aproximadamente 3m⁴⁸, respecto a otros software, en líneas base de centenares de kilómetros.

Se puede llegar a concluir, según se ha contrastado, que la aplicación DDBase no está totalmente validada en líneas base largas (superiores a 5 Kilómetros), según el artículo: “Measuring Mach 8: sub-milimeter Survey System”⁴⁹ publicado el 1 de Junio de 2007 en la

⁴⁶ Cfr. Octavian ANDREI 14 de Julio 2009: “Ask a questions” en <http://www.gpstk.org/>.

⁴⁷ Cfr. Marc WATHELET 9 de Octubre 2009: “Ask a questions” en <http://www.gpstk.org/>.

⁴⁸ Cfr. Nguyen VAN NGUYEN 6 de Junio de 2010: “Ask a questions” en <http://www.gpstk.org/>.

⁴⁹ J.CLARK HUGHES, Joel A. BANKS, Aaron J. KERKHOFF, Brian W. TOLMAN, Rex E. ELLISON. “Measuring Mach 8: sub-milimeter Survey System”. June 1, 2007. GPSWorld.

revista GPSWorld. También en la documentación de GPSTK relativa a DDBase, concretamente en DDBase Command Reference⁵⁰, se vuelve a realizar la misma apreciación respecto a líneas bases de varios kilómetros.

Aún así, resulta una aplicación de uso común para posicionamiento GPS bastante interesante pues permite la incursión en el proyecto GPS Toolkit del que forma parte. Tanto es así que el código fuente de DDBase implementa varias funciones críticas en términos de clases de la librería de GPSTk.

Tanto el manejo de los datos de las observaciones como las efemérides son tratados y calculados mediante métodos del proyecto GPSTk. Además durante el preprocesamiento utiliza las clases siguientes:

PRSolution: para la solución de pseudodistancia

TropModel: para el cálculo de modelos troposféricos

DisFix: para fijar discontinuidades y reparar saltos de ciclo

Además de ello DDBase hace uso de las clases “class Position” y “class DayTime” para objetos de tiempo y posicionamiento, y se manejan transformaciones y algebra entre otros.

3.4.1. ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS.

Para un mejor análisis y justificación de resultados obtenidos en el epígrafe anterior referente a las líneas base procesadas, se estudian las gráficas elaboradas mediante los residuos obtenidos de la diferenciación de observables.

Las gráficas de análisis de los residuos de las dobles diferencias procesadas deben ser relativamente planas y deben fluctuar según un rango de valores pequeños para obtener un buen procesamiento del vector final de la línea base en estudio. Aún así, estos residuos siempre estarán en consonancia con el resultado final del posicionamiento del vector. Se

⁵⁰ DDBase Command Reference en gpstk/branches/rinex3_dev/apps/geomatics/reposition/doc.

puede suponer ruido⁵¹, e incluso efecto multipath, en las observaciones cuando éstos crecen exponencialmente y se separan del rango de valores entre los cuales oscilan la mayoría de ellos.

A continuación se comentan dichas gráficas según cada línea base procesada de la Red ERVA:

- **Red ERVA**

Al calcular los residuos de las dobles diferencias del procesamiento de todas las estaciones de la red en conjunto y establecerse como fija la estación VCIA, se obtiene las gráficas de las correspondientes las líneas base:

- **Línea base VCIA-ALCO**

Destacan durante las primeras horas del procesamiento residuos con valores bastante importantes llegando hasta 30cm., aunque la mayoría oscilan en un rango de valores de [-5cm., 5cm.]. En cambio a partir de las 12:00h el rango en el que se mueven la mayoría de estos residuos se estrecha más siendo éste [-3cm., 3cm.] y los valores máximos alcanzan ahora 12cm. En general, existe poco tiempo de procesamiento en que se solapen ó se obtengan datos de más de una parejas de dobles diferencias. Todo ello concuerda con una desviación en el resultado final del posicionamiento del vector de 28,5cm.

- **Línea base VCIA-AYOR**

Los valores de la mayoría de los residuos son muy similares en todo el tiempo de observación oscilan en un rango de valores de [-3cm., 3cm.], teniendo un máximo de 9cm. Se quiere resaltar el residuo correspondiente a la pareja de satélites G30-G16 cuyo valor crece de forma exponencial desde -7cm hasta 14cm. Como en el vector anterior, se destaca la poca coincidencia de más de una pareja de dobles diferencias a lo largo de toda la observación, además de

⁵¹ Cfr. Michael RIGBY 16 de Noviembre de 2007 y Brian TOLMAN 26 de Noviembre de 2007: “Ask a questions” en <http://www.gpskit.org/>.

intervalos en los que no se han resuelto ningún tipo de dobles diferencias, lo que conlleva un peor posicionamiento con un resultado de 22,5cm.

- **Línea base VCIA-BORR**

En este caso, el resultado final en el posicionamiento del vector mejora notablemente con 45mm, ello se refleja en las gráficas de los residuos de las dobles diferencias procesadas. Durante las primeras 12 horas el rango de los valores obtenidos para los residuos oscila entre [-2cm., 2cm.] disminuyendo en las horas siguientes hasta situarse en [-1,5cm., 1cm.]. Destacar que ahora sí que existe un número más adecuado de dobles diferencias que se procesan simultáneamente en el tiempo de observación.

- **Línea base VCIA-DENI**

Los residuos tienen valores considerablemente pequeños a lo largo del período de observación, comienzan en un rango de valores que oscilan entre [-1,5cm., 1,5cm.] para llegar a [-1cm., 2cm.]. Con estos valores se consigue un posicionamiento en el vector de 19mm. Existen unos valores residuales correspondientes a la pareja de satélites G18-G15 que crecen exponencialmente desde -5cm. hasta 8cm.

- **Línea base VCIA-MORE**

Este caso es el que peor posicionamiento obtiene en toda la red, con unas discrepancias en el vector final de 38,2cm. En las primeras 12 horas de observación los valores de los residuos pueden resultar aceptables oscilando la mayoría en un rango de [-2cm., 2cm.] hasta alcanzar en las 12 horas siguientes valores de [-4cm., 3cm.]. Encontramos parejas de satélites con unos valores residuales en el cálculo de dobles diferencias que crecen exponencialmente desde -14cm. hasta 19 cm., éstas son G2-G12 y G30-G16.

En general, hay que destacar que además existe muy poco tiempo de procesamiento en que se solapan ó se obtengan datos de más de una parejas de dobles diferencias, encontrando un intervalo de tiempo, desde las 09:12:30h hasta las 15:23:30h, en el cual no existe procesamiento de dobles diferencias.

- **Línea base VCIA-TORR**

En las primeras horas de observación, concretamente desde las 02:55:00h hasta las 06:32:00, existen bastantes dobles diferencias que han sido procesadas con éxito y además solapan en el tiempo. Se obtienen unos residuos que oscilan entre un rango de valores de [-2cm., 2cm.], alcanzando unos máximos en 6cm y -4cm. A continuación no obtenemos valores del procesamiento de dobles diferencias hasta las 15:22:30h, pero se aprecia una menor coincidencia en el procesamiento de dobles diferencias y un crecimiento de los valores máximos residuales de -8cm. y 6cm. No obstante, el posicionamiento final se obtiene, en concordancia, con 94mm.

- **Línea base VCIA-UTIE**

En esta línea base no se han podido procesar dobles diferencias desde las 06:31:00h hasta las 15:22:30h, y en el resto del período de observación existen muy pocos solapes de datos procesados, de ahí que el vector se haya posicionado con un resultado final de 28,9cm. Los valores de los residuos en las primeras horas desde las 00:00:00h hasta las 06:31:00h oscilan en un rango de valores de [-2cm., 2cm.] aumentando progresivamente algunos de ellos hasta 11cm. e incluso 19cm. Posteriormente a partir de las 15:22:30h los valores residuales de las dobles diferencias siguen en incrementándose situándose en [-1cm., 5cm.] hasta llegar a valores de [-7cm., 12cm.], pero a partir de las 20:23:20h empiezan a disminuir y mejoran considerablemente para alcanzar la mayoría de ellos valores entre [-2cm., 1cm.].

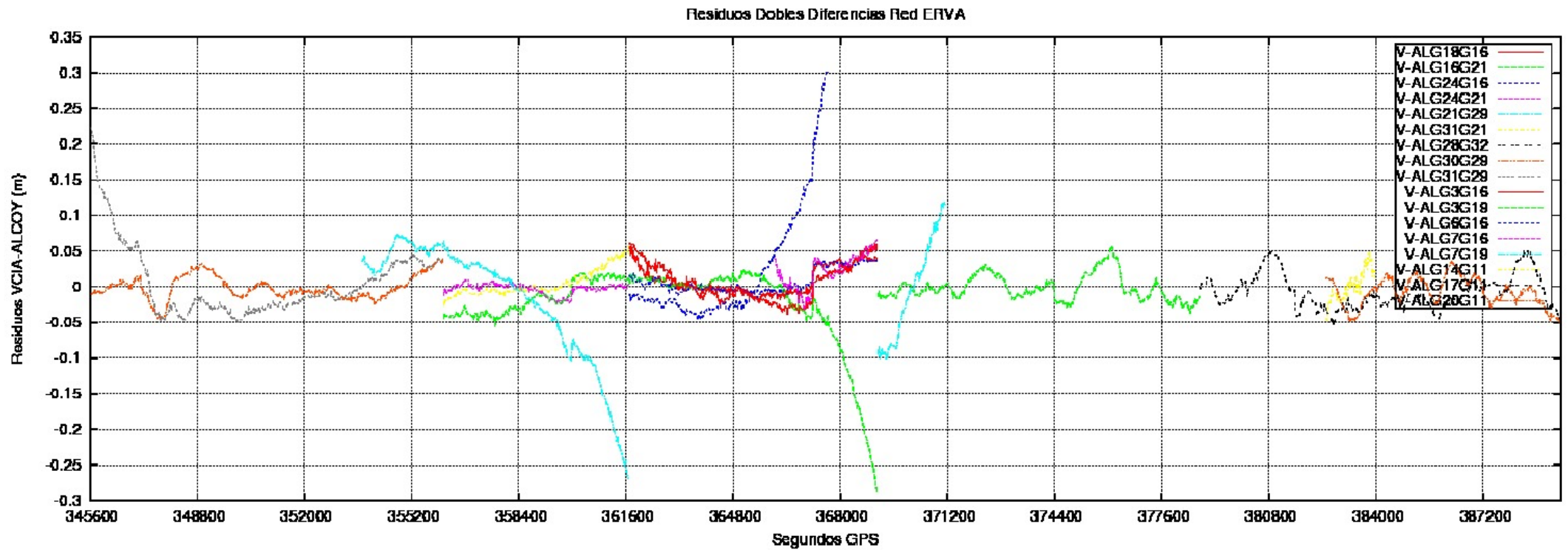
- **Red ERVA: línea base ALCO-AYOR**

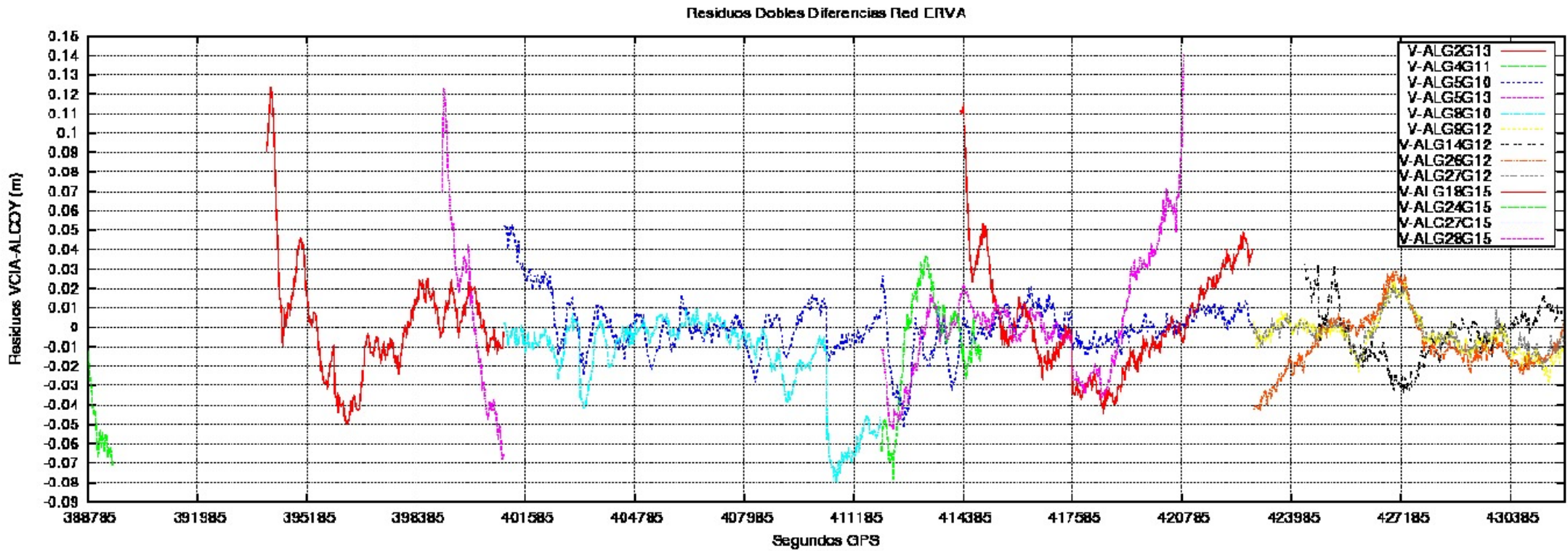
Al realizar el posicionamiento considerando estas 2 estaciones de altitud ortométrica similar, éste mejora considerablemente y ello se observa directamente en los residuos de las dobles diferencias procesadas.

Estos residuos presentan unos valores bastante buenos entre [-1cm., 1cm.] hasta las 06:32:00h que se pierde el procesamiento de las dobles diferencias hasta las 11:33:30h. A partir de éste punto los residuos aumentan hasta llegar a -6cm. con la pareja de satélites G13G23. Aunque el valor medio de la mayoría de los residuos oscila en un rango de valores de [-2cm., 2cm.]. Posteriormente a partir de las 15:22:30h el número de dobles diferencias procesadas se incrementa de manera considerable aunque el valor medio de los residuos no aumenta.

3.4.2. GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

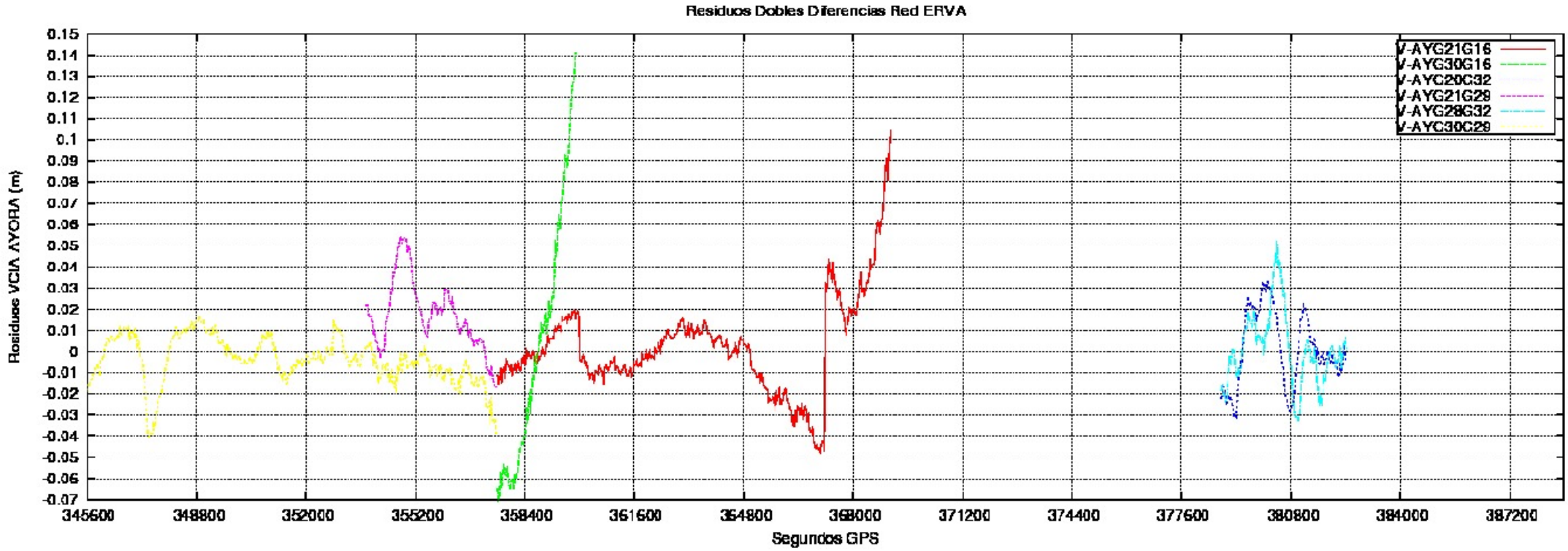
- LÍNEA BASE VCIA-ALCO

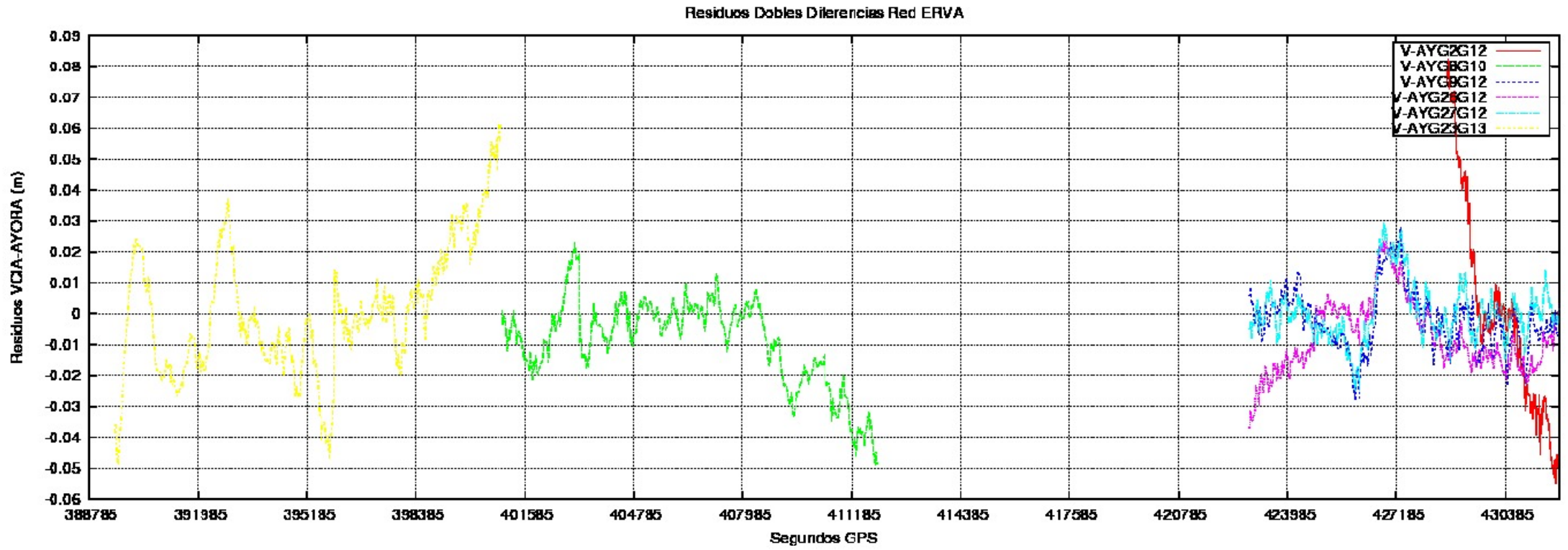




GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

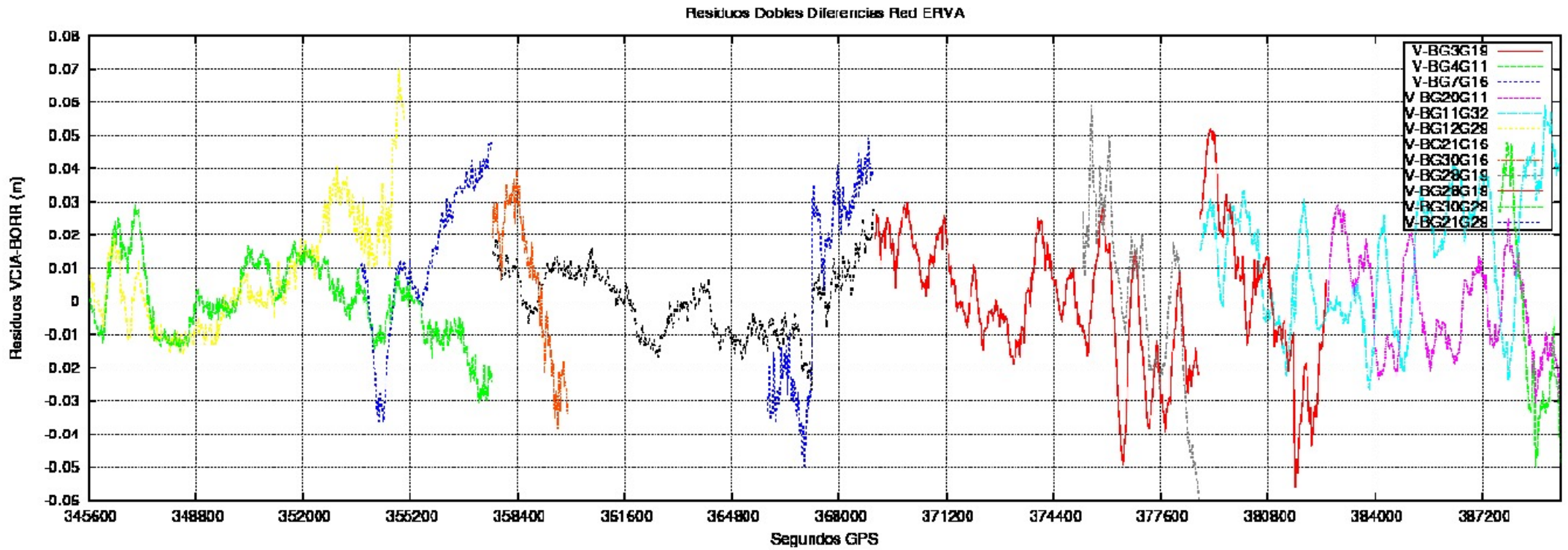
- LÍNEA BASE VCIA-AYOR

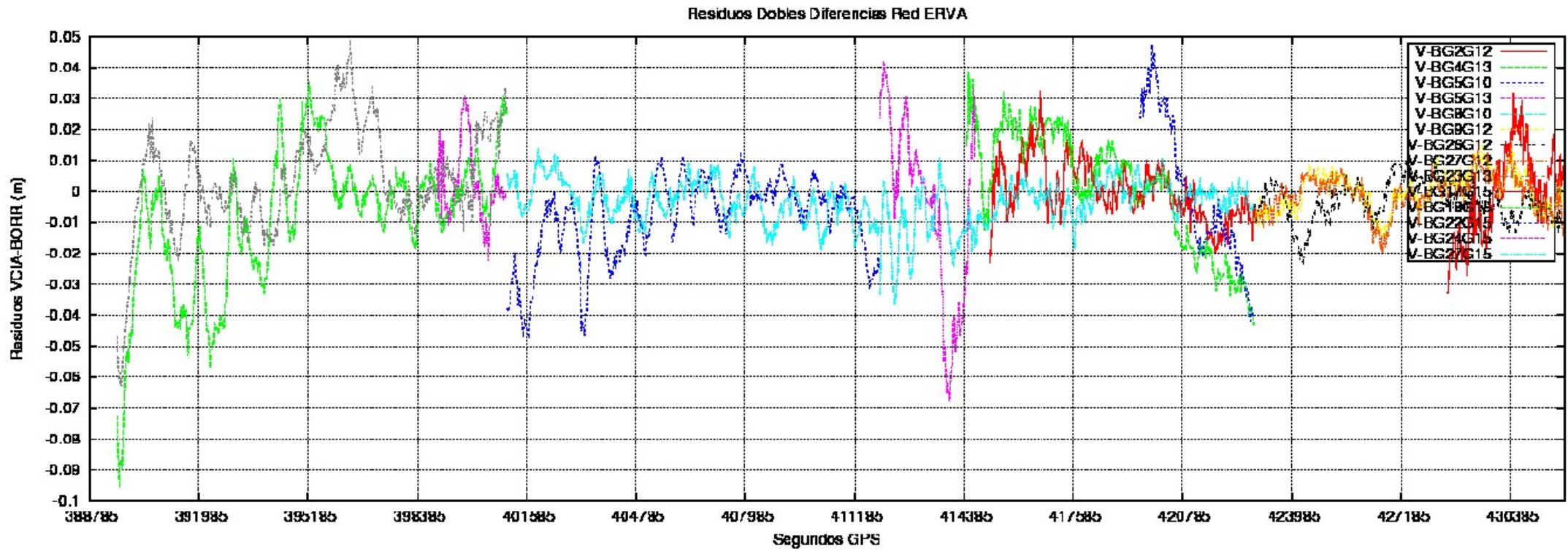




GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

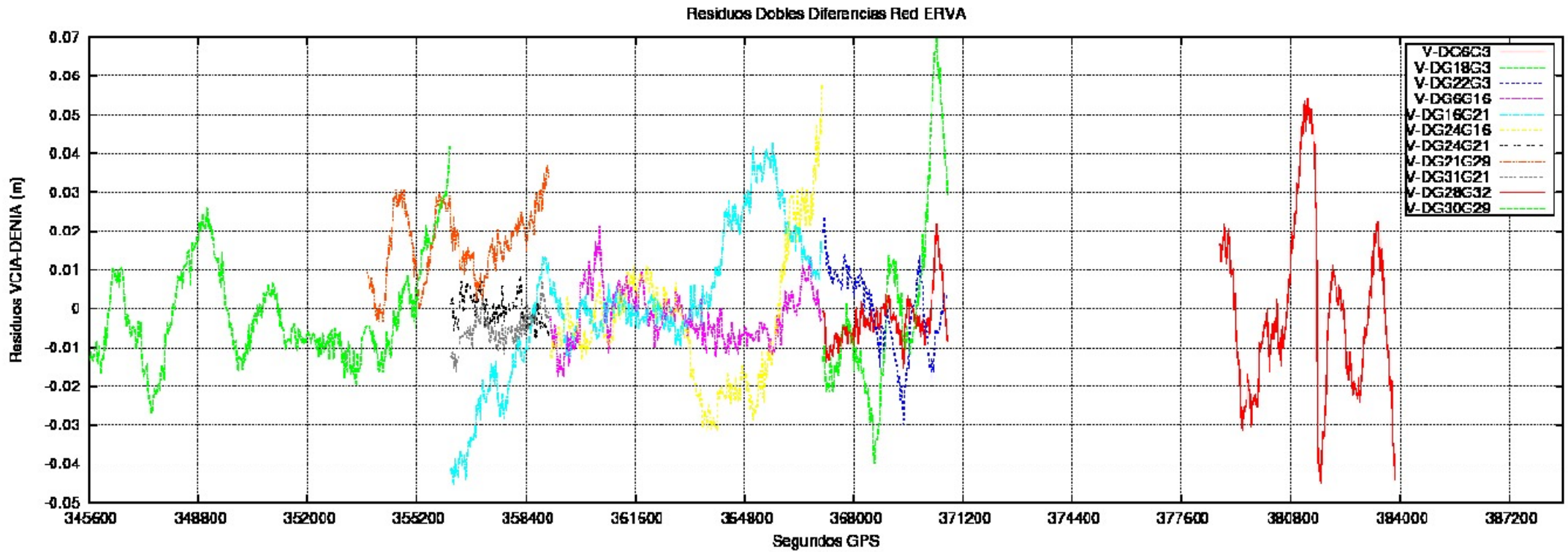
- LÍNEA BASE VCIA-BORR

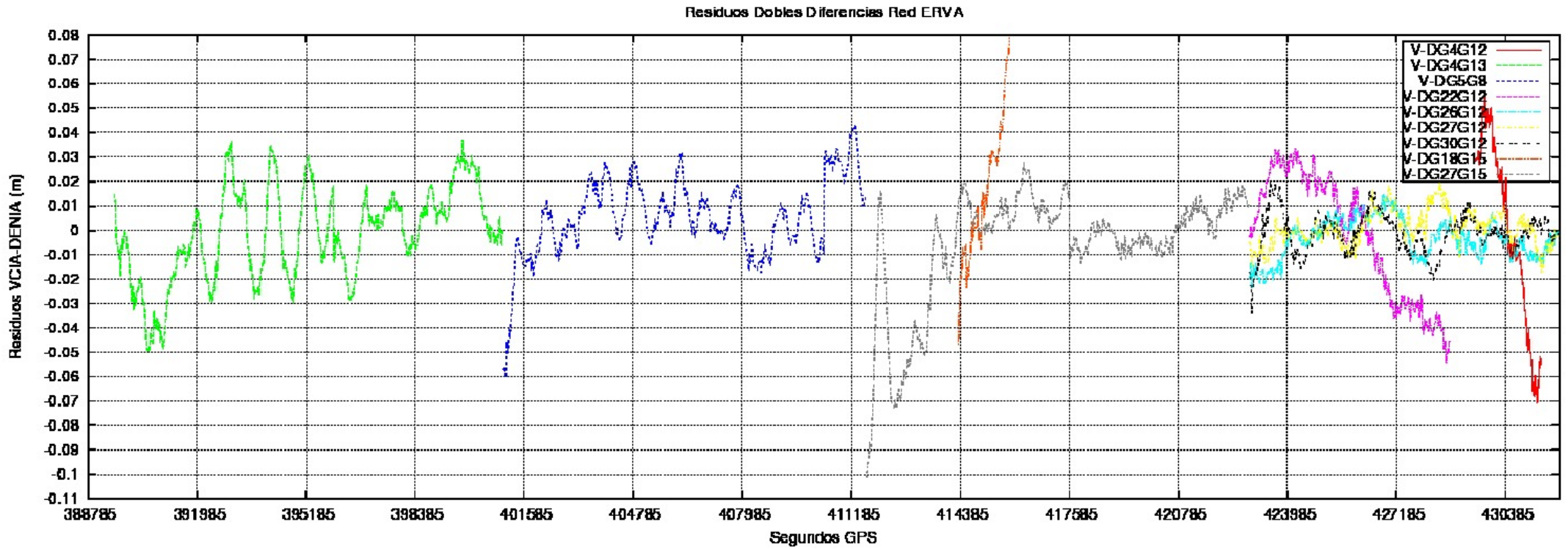




GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

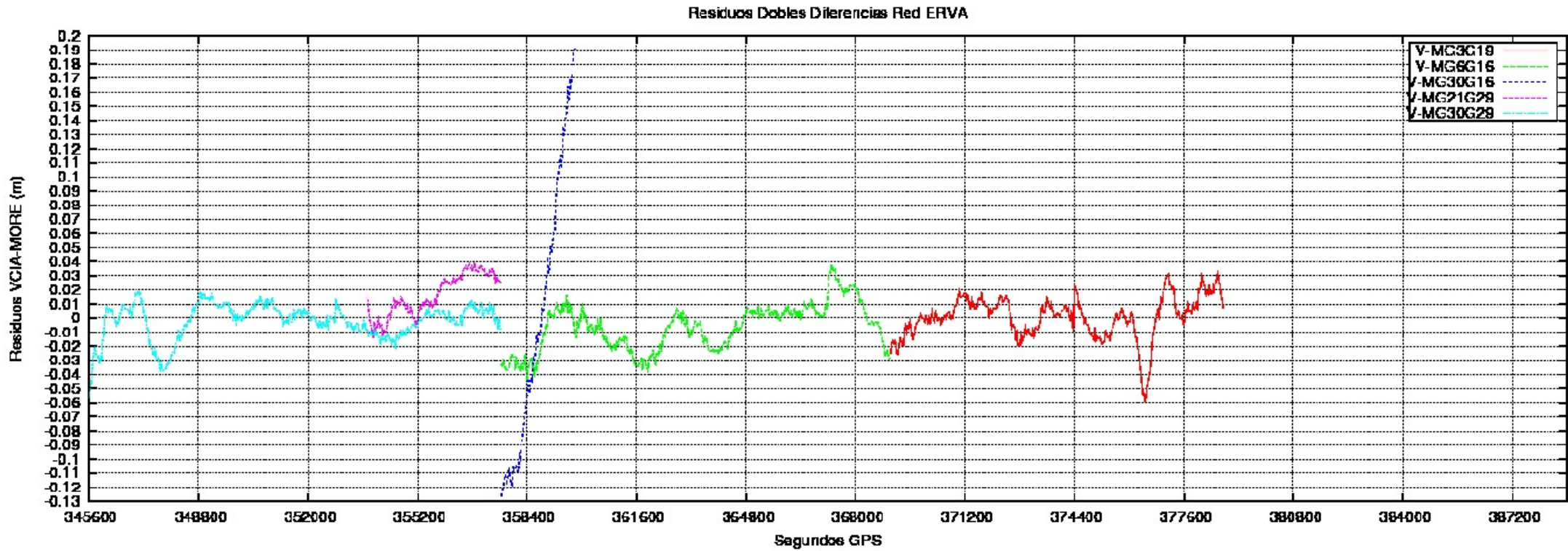
- LÍNEA BASE VCIA-DENI

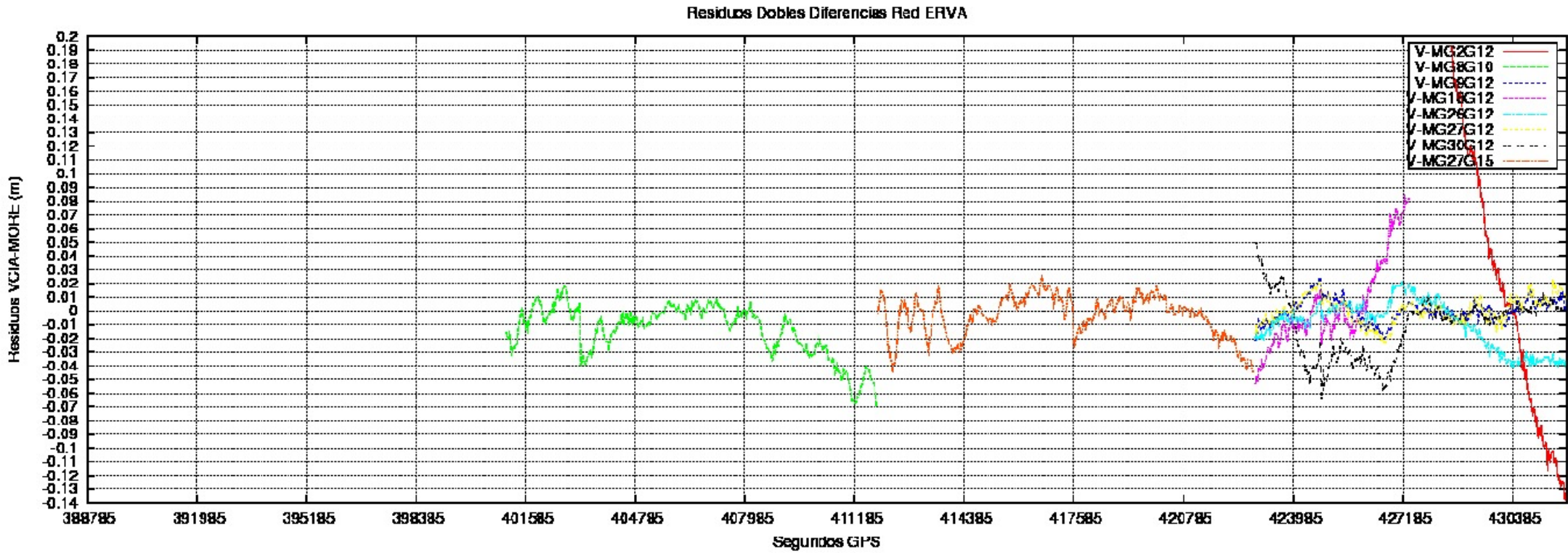




GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

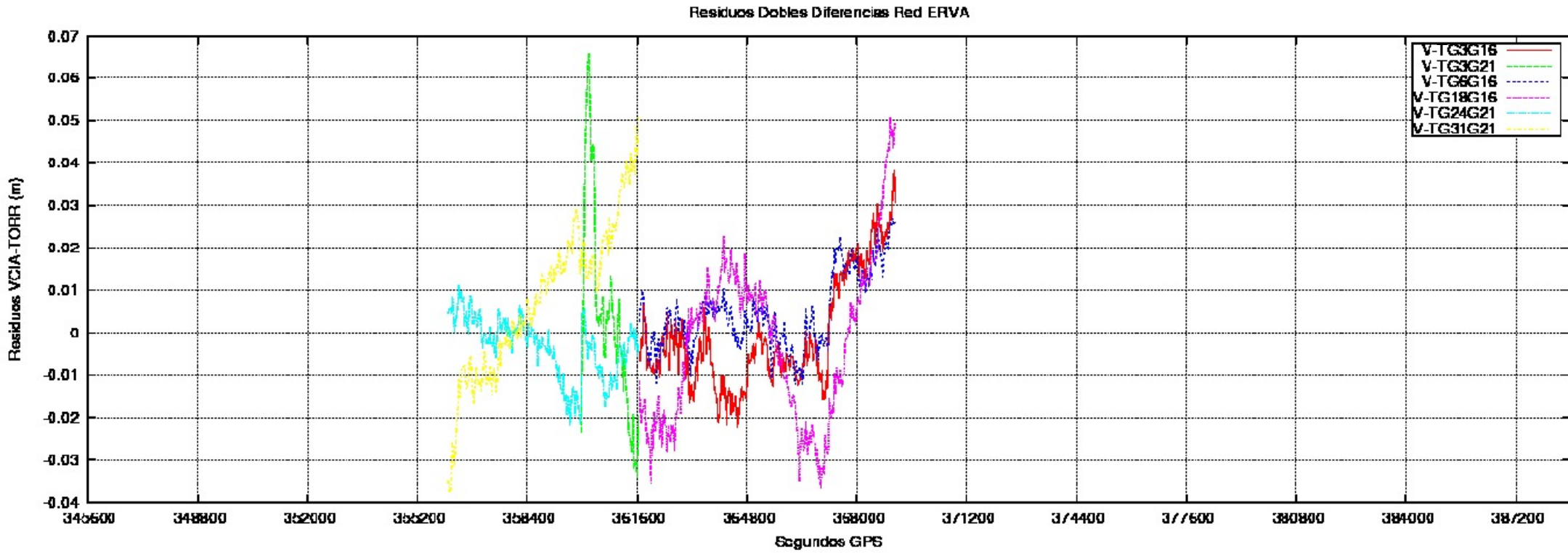
- LÍNEA BASE VCIA-MORE

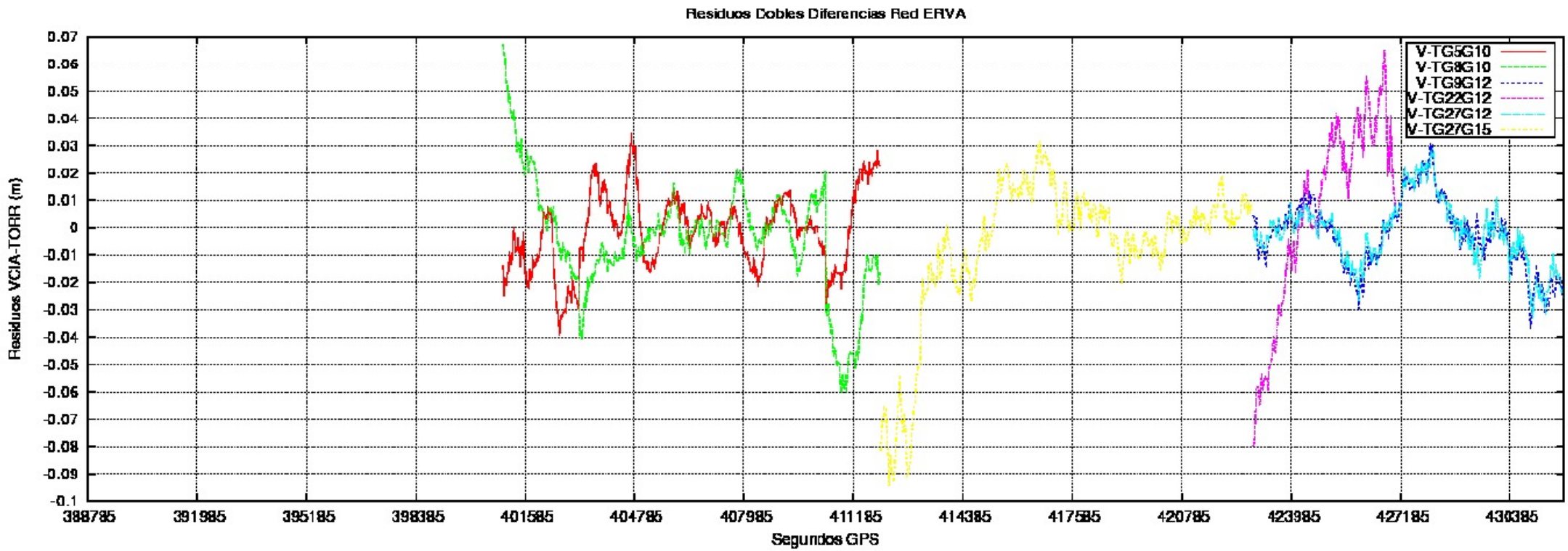




GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

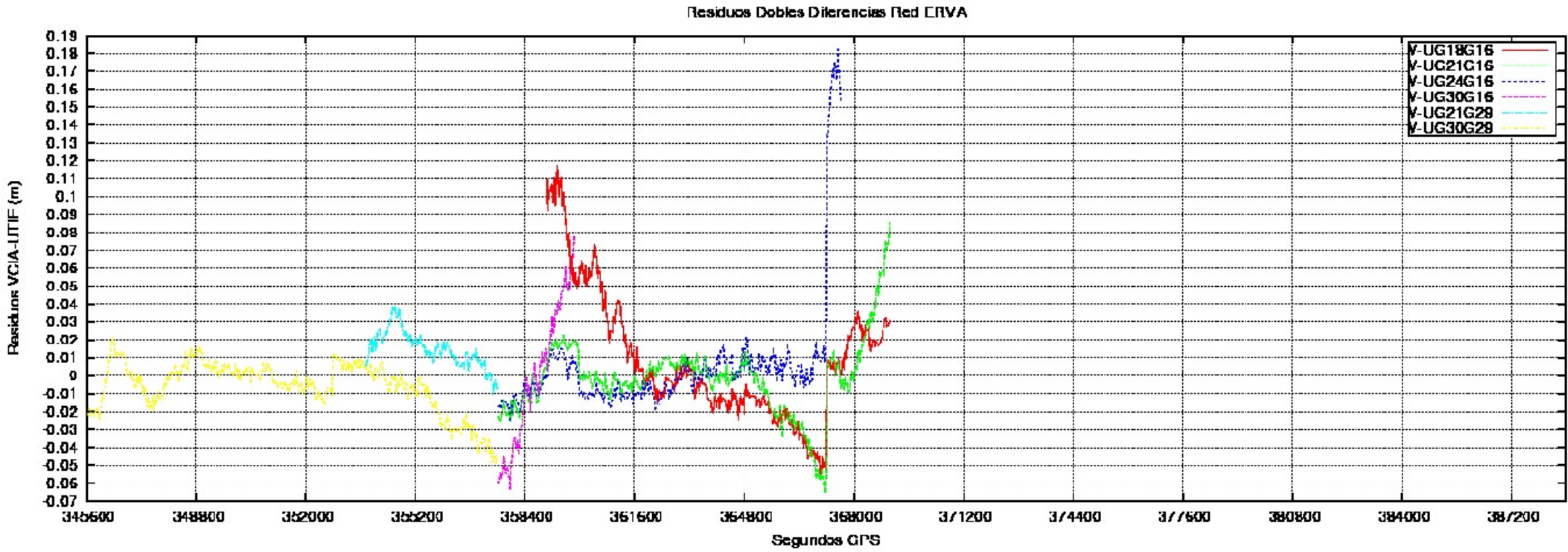
- LÍNEA BASE VCIA-TORR

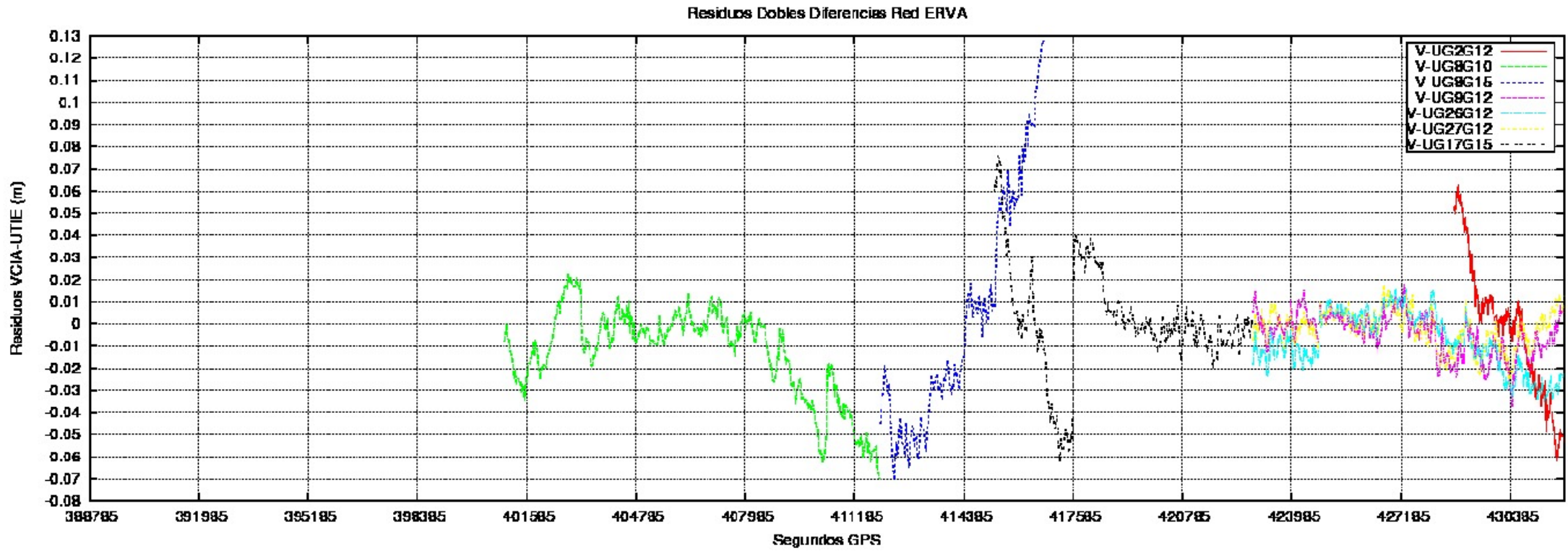




GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

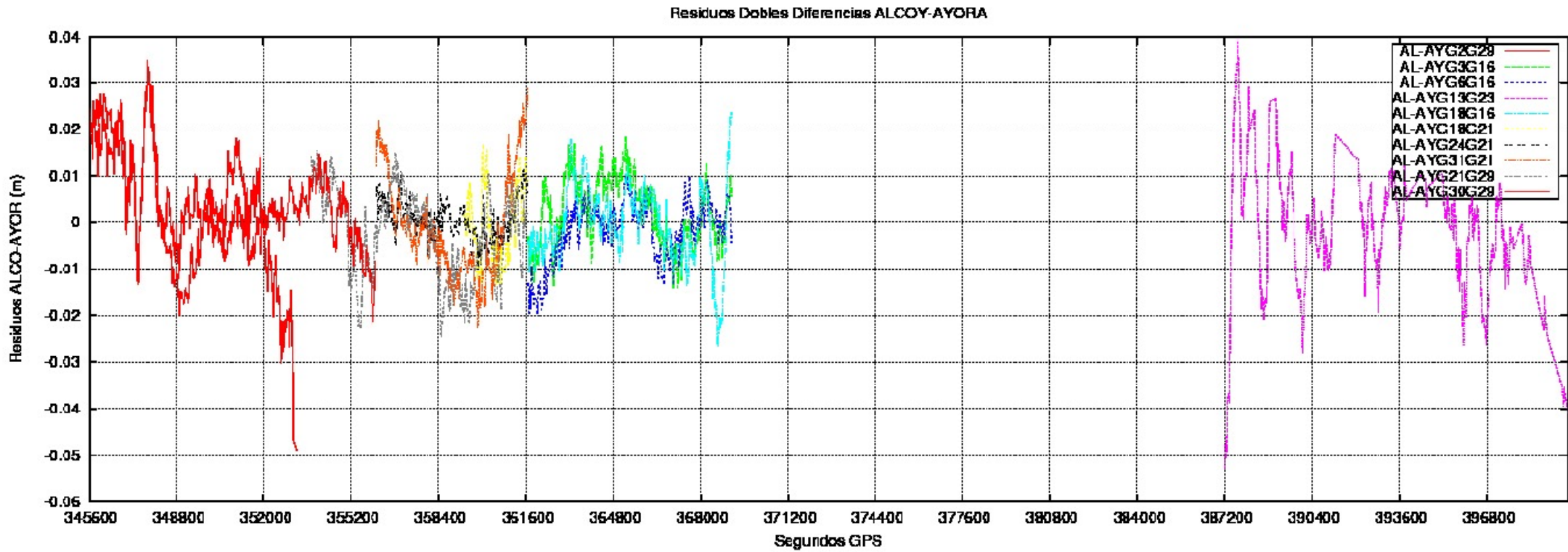
- LÍNEA BASE VCIA-UTIE

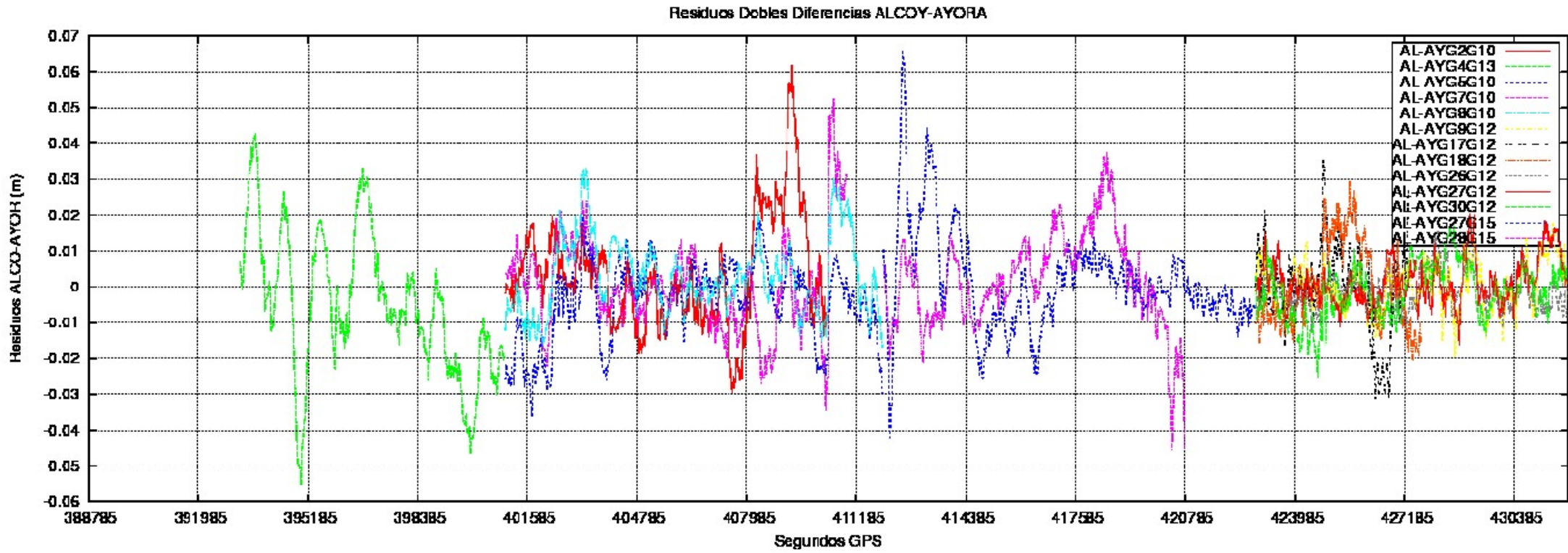




GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS. RED ERVA

RED ERVA: LÍNEA BASE ALCO-AYOR





CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE DDBASE EN UNA RED LOCAL DE EJES CORTOS. AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE INCREMENTOS DE COORDENADAS.

4.1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Es el objetivo de esta parte del trabajo densificar la Red de Calibración de la Universidad Politécnica de Valencia con un nuevo punto, denominado señalado y monumentado como V_2 . Además ello nos servirá para contrastar la aplicación DDBase en una red de lados cortos, tratando de profundizar en el estudio de dicha aplicación sobre la que versa este trabajo.

En este capítulo se aplicará la teoría clásica de "Ajuste de redes microgeodésicas por el método de Gauss Markov", desarrollada con algunas innovaciones sobre una red local de prueba formada por cuatro vértices señalados y monumentados al efecto en el Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia.

Interesa específica y fundamentalmente en este capítulo establecer y garantizar al máximo la fiabilidad y poder de afirmación de algoritmos, datos de partida, y resultados parciales y totales. Ello conlleva analizar todas las hipótesis, todos los algoritmos y todos los resultados intermedios, parciales y finales, y contrastarlos rigurosamente con la realidad física por medio del ajuste de la red observada.

4.1.1. LOCALIZACIÓN DE LA RED DE LADOS CORTOS

En el entorno de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica, según se representa en la fotografía aérea siguiente, formando un cuadrilátero de lados comprendidos entre 64 y 69 metros.

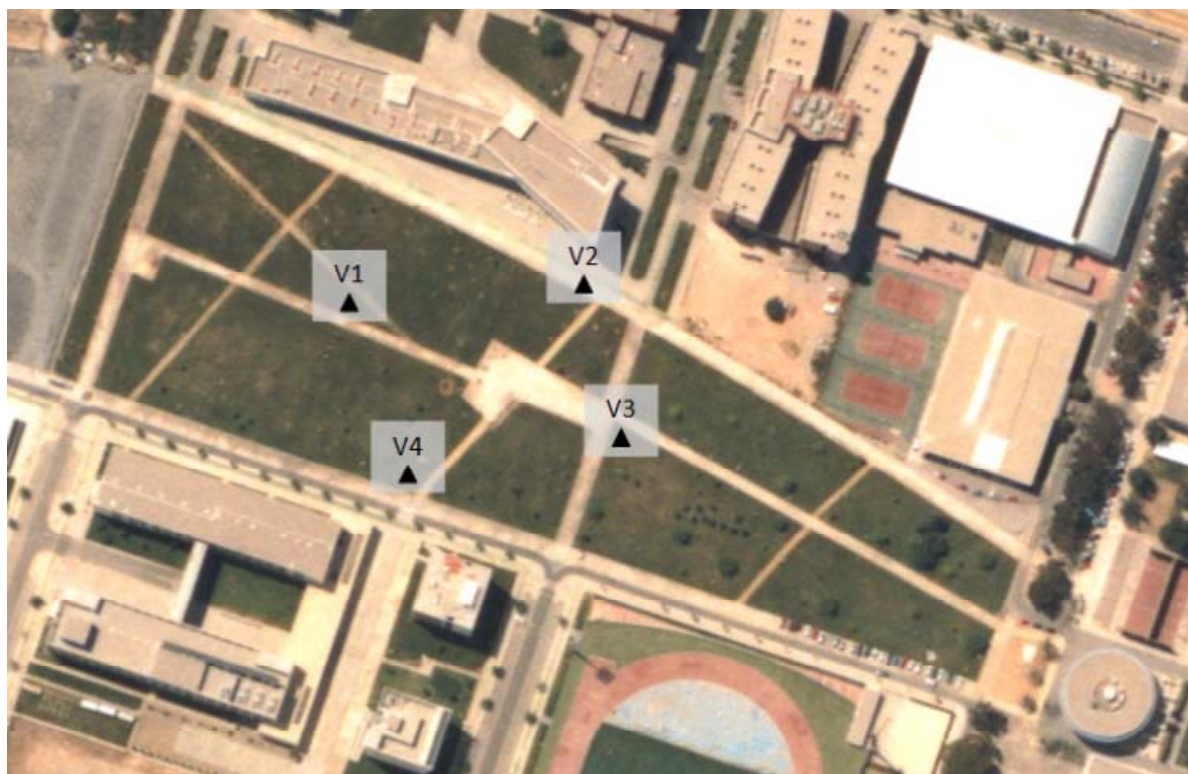


Fig.3. Situación de la Red Local⁵²

4.1.2. MONUMENTACIÓN, MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Tres de los cuatro pilares forman parte de la red de calibración de la Universidad Politécnica de Valencia⁵³ que se pretende densificar con un nuevo vértice.

Dichos pilares V1, V3 y V4 son de acero inoxidable de 1,2 m de altura y diámetro exterior de 22 cm. Se construyeron en doble tubo concéntrico con una cámara de aire que separa el tubo interior anclado directamente a cimentación, del tubo exterior cuyas funciones básicas son de protección tanto frente a posibles agresiones externas como a la posible dilatación por insolación directa.

La cimentación consiste, en una zapata de hormigón armado, de dimensiones aproximadas: 100 x 100 x 60 cm que queda por debajo de la cubierta vegetal.

⁵² Cfr. “Progreso en la práctica del ajuste gaussiano...”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ ET ALT.

⁵³ Cfr. José Luis BERNÉ, Inge REVHAUG, Pascual GARRIGUES, Luis GARCÍA-ASENJO, Sergio BASELGA, Sergio NAVARRO. “Base de calibración de la Universidad Politécnica de Valencia: descripción y medición”. Actas del IX Congreso Nacional TOPCART, Valencia 2008.

Los pilares van rematados por su parte superior con una base de acero inoxidable nivelada y con rosca macho solidaria de paso estándar 5/8, protegida con cubierta de acero inoxidable cuando no se observa.

En cuanto al pilar V2 es de acero y está anclado sobre el hormigón de la vía del campus universitario, tiene una altura de 1,3 m., y en la parte superior tres alineaciones para estacionar la basada.



Fig.4. Monumentación vértice 2 (V₂)⁵⁴

La observación de campo se hizo con los equipos GNSS Leica System 12001⁵⁵, en dos campañas de observación distintas, para tener redundancia y repetibilidad de observables:

- 1ª campaña: 24 de Noviembre de 2010, semana GPS 1611, día GPS 328
- 2ª campaña: 27 de Abril de 2010, semana GPS 1633, día GPS 117

⁵⁴ Cfr. “Progreso en la práctica del ajuste gaussiano...”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ ET ALT.

⁵⁵ Medición en modo post-proceso estático, con señal de frecuencia L1 y L2 combinadas. Los vectores GNSS, en componentes cartesianas geocéntricas, se han calculado con el programa DDBase y se han contrastado los resultados con TTC (Trimble Total Control).

En ambas campañas se situaron los receptores GNSS simultáneamente sobre los cuatro vértices de la red local para poder procesar todas las líneas base que derivan de ellos y poder aplicar la diferenciación de fase.

4.2. TEORÍA SOBRE EL AJUSTE GAUSSIANO POR INCREMENTOS DE COORDENADAS.

4.2.1. SOBRE LA GEOMETRÍA DE LAS SOLUCIONES POSIBLES EN EL AJUSTE GAUSS-MARCOV DE UNA RED LOCAL

Si está justificado aceptar que el vector de observables O es un vector cuyas componentes son variables aleatorias, él y las consecuencias que de él se deriven pueden explicarse según un modelo estadístico. En dicho supuesto, la Red en estudio se resolverá a través suyo, relacionándolo con un modelo matemático. Así se propone nuestra mejor solución.

Según es bien sabido, siendo

O = el vector de observables, cuyos componentes en cualquier proporción son observables clásicos (angulares y distanciométricos), y/o GNSS, la solución de Gauss-Marcov exige que se cumpla la condición

$$O \sim N(O_T, \Sigma_0) = N(O_T, \sigma^2 \cdot Q) = N(O_T, \sigma^2 \cdot P^{-1})$$

Con los test estadísticos convenientes se puede asegurar que los observables son normales, como es el test de adherencia de Pearson.

Que implica que el vector de residuos cumpla la misma condición y

$$R \sim N(O_T, \Sigma_0) = N(O_T, \sigma^2 \cdot Q) = N(O_T, \sigma^2 \cdot P^{-1})$$

con la nomenclatura conocida

$C = O_T + R =$ vector de observables corregidos (es la solución de la red)

$R =$ vector de residuos o correcciones

$\sigma^2 =$ factor de varianza, entendida como la varianza del observable de peso unidad

$\Sigma_0 = \sigma^2 \cdot Q =$ matriz varianza covarianza del observable a priori

$P = Q^{-1} = \sigma^2 \cdot \Sigma_0^{-1} =$ matriz de pesos

Cumplíndose que la probabilidad del vector de observables será:

$$P(O) = P(O_1, y O_2, y O_3, \dots \dots \dots, y O_m) = P(R) = P(R_1, y R_2, y R_3, \dots \dots \dots, y R_m) =$$

$$= \prod_1^m \frac{h_i}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h_i^2 \cdot R_i^2} = \prod_1^m \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_i}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{R_i}{\sigma_i}\right)^2} = \text{máximo}$$

siendo

$$h_i = \frac{1}{\sigma_i \cdot \sqrt{2}}$$

expresión que será de probabilidad máxima cuando se cumpla que:

$$\sum_1^m \left(\frac{R_i}{\sigma_i}\right)^2 = \sum_1^m \frac{1}{\sigma_i^2} \cdot R_i^2 = \sum_1^m p_i \cdot R_i^2 = R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$$

principio de los cuadrados mínimos. Se busca de esta manera que la probabilidad de nuestros resultados sea la máxima alcanzable.

Siendo necesario para que sea lícita la expresión anterior, que sea $\Sigma_0 =$ matriz

diagonal de varianzas de los observables O a priori

y por tanto

$Q = \text{matriz diagonal cofactor} = P^{-1}$ y cumplido lo que antecede, la condición Gauss-Marcov aplicable al ajuste de una red local o microgeodésica se expresa según

$$R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$$

con la teoría, algoritmo y notación usual, bien conocidos. *Donde merece la pena recordar las consideraciones efectuadas sobre el vector de residuos R en las publicaciones antes citadas⁵⁶ y la necesidad de contar a priori con un vector de observables, que implícitamente supone de residuos, excelente.*

La solución R también puede escribirse como el vector $\sqrt{P} \cdot R$, mínima norma euclídea de orden dos, tal que

$$|\sqrt{P} \cdot R|^2 = k^2 = \text{mínimo} \quad \text{y}$$

$$R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$$

ambas son expresiones de la misma solución.

Su interpretación geométrica corresponde al lugar del afijo del vector R , haz de hiperelipsoides HE en el espacio m-dimensional E^m , de m ejes, referido a su centro y en ecuación canónica, en este caso, por ser P una matriz diagonal.

Y también al lugar del afijo del radio vector k

$$|\sqrt{P} \cdot R|^2 = k^2$$

que puede escribirse como

$$HES = R^T \cdot P \cdot R = (\sqrt{P} \cdot R)^T \cdot (\sqrt{P} \cdot R) = R^{*T} \cdot R^*$$

⁵⁶ Cfr. M. CHUECA, J.L. BERNÉ, A.B. ANQUELA, S. BASELGA, "Microgeodesia y redes locales. Complementos docentes." Opus cit. Pg. 9-14. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia 2004.

que expresan la misma forma cuadrática que define ahora una hiperesfera HES en el espacio m -dimensional E^m , referida a su centro, y radio $k = |\sqrt{P} \cdot R|$.

Analíticamente corresponde a una simple reducción del ajuste a pesos unidad. Es decir, si el peso es el mismo para cada uno de los observables del ajuste se puede decir que el hiperelipsoide de observables es en este caso una hiperesfera, porque cada uno de los semiejes tiene la longitud del radio k .

Hiperelipsoide e hiperesfera son figuras homólogas y se deducen una de otra recíprocamente por una relación geométrica proyectiva⁵⁷.

Y conocida una solución R , se obtiene inmediatamente

$$\sqrt{P} \cdot R = R''$$

y siendo

$$|\sqrt{P} \cdot R| = |R''| = k = \text{radio de HES}$$

Una vez definida la hiperesfera HES, cualquier otra solución arbitraria R' del ajuste sobre HES se podrá escribir según la ecuación:

$$\Gamma'^T \cdot R'' = R'$$

$$\Gamma' \cdot \Gamma'^T \cdot R'' = R'$$

siendo Γ'^T matriz cuadrada ortogonal rotación, siendo Γ' asimilable para fijar ideas a una matriz de cosenos directores o autovectores normalizados dispuestos en columnas y en el espacio euclídeo E^m .

El paso final de R' sobre la hiperesfera HES a R^* sobre el hiperelipsoide HE es sencillo.

⁵⁷ “Progreso en la práctica del ajuste gaussiano...”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ ET ALT.

Se tendrá

$$\sqrt{P} \cdot R^* = R'$$

$$R^* = (\sqrt{P})^{-1} \cdot R'$$

Lícito siempre por ser P matriz de rango completo y diagonal.

De tal manera que la aplicación de la matriz rotación descrita corresponde y equivale analíticamente al paso de una solución Gauss-Marcov conocida de vectores y matrices:

x : vector de correcciones,

R : vector de residuos,

C : vector de observables compensados,

A : matriz de diseño,

$$S = A^T \cdot P \cdot A,$$

a otra x^* , R^* , C^* , A^* , S^* inmediata a partir de Γ' , supuesto conocido.

No existe solución del problema fuera del hiperelipsoide o hiperesfera, y todos sus puntos son solución. Es una definición geométrica exclusiva y excluyente, que equivale directa y recíprocamente a la analítica bien conocida. Si los pesos son iguales la solución de entrada es la hiperesfera, que coincide con el hiperelipsoide, caso particular de todos los ejes iguales, si son diferentes la solución es el hiperelipsoide. Es posible transformar una solución sobre la HES a la solución sobre el HE, como ya hemos dicho, se deducen una de otra recíprocamente por una relación geométrica proyectiva.

Por lo tanto, los componentes del vector R pueden variar para un k^2 cualquiera, y resolver la cuestión, siempre supuesto k^2 mínimo según conviene en nuestros ajustes cartográficos.

Y reiterar que es fundamental tener en cuenta que la variación de los componentes de R modifica también los vectores C (vector de observables corregidos) y X (vector de coordenadas compensadas) y por lo tanto se refieren a distintas soluciones de la red calculables analíticamente a partir de los correspondientes modelos matemáticos y condicionados complementarios.

La aparición de la tecnología GNSS, de universal aplicación, obliga a avanzar en la teoría de los ajustes rigurosos de redes locales y microgeodésicas, quedando suficientemente justificada la procedencia de:

- a) *Retomar la exposición en el supuesto de que las matrices Σ_0 , Q y P no sean diagonales ni $R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$ ecuación canónica de HE, superando el obstáculo de que en principio resulte incumplida la condición de Gauss-Marcov e ilícita la aplicación del algoritmo de mínimos cuadrados a la red en presencia.*
- b) *Estudiar la evolución de la solución mínimo cuadrática C , X , en función de los distintos condicionados a agregar al modelo matemático inicial.*

La cuestión estriba en cómo puede diseñarse el trabajo en lo concerniente a los datos de partida, especialmente por lo que respecta al vector de observables y sus matrices de varianzas y pesos, en su caso más general y supuesta a priori la aparición de covarianzas en ellas en orden a restablecer rigurosa y satisfactoriamente la licitud de la solución y algoritmo antes citados.

Es fundamental tener en cuenta desde el primer momento que el proyectista tiene plena libertad para elegir a priori los observables de partida más adecuados y para combinarlos entre sí formando otros de concepción distinta (generalmente homogeneizándolos todos en magnitudes lineales), generando así los componentes más adecuados del vector O .

Y todo confluye en definitiva en el estudio de las covarianzas que puedan presentarse en las matrices de diseño a priori generadas por el vector de observables O . Con todo ello se puede, entre otras cuestiones importantes, avanzar en la resolución rigurosa Gauss-Marcov de redes con observables GNSS, cuestión que en el momento presente entendemos que no está adecuadamente resuelta.

4.2.2. LAS COVARIANZAS A PRIORI EN LAS MATRICES DE DISEÑO DE OBSERVABLES.

Suponemos ahora una matriz cualquiera ortogonal normalizada de autovectores columna Γ' , siendo su transpuesta Γ'^T representativa de la rotación más general en el espacio euclídeo E^m .

Así, siendo el sistema de formas lineales genérico

$$Ax - K = R$$

Por definición de transformación ortogonal en el sistema el vector R rotará a R' según

$$\Gamma'^T \cdot (Ax - K) = \Gamma'^T \cdot R = R'$$

y se cumplirá

$$|Ax - K| = |R| = |\Gamma'^T \cdot R| = |R'|$$

es decir

$$\begin{aligned} R^T \cdot R &= (Ax - K)^T \cdot (Ax - K) = \\ &= \left(\Gamma'^T \cdot (Ax - K) \right)^T \cdot \left(\Gamma'^T \cdot (Ax - K) \right) = \left(\Gamma'^T \cdot R \right)^T \cdot \left(\Gamma'^T \cdot R \right) = R'^T \cdot R' \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el caso de observables del mismo peso, $P = I$, la hiperesfera genérica HES se particulariza ahora en

$$|R|^2 = k^2 = \text{constante} = \text{radio de la esfera}$$

y representa a todas las soluciones Gauss-Marcov de la red, que pueden explicarse por la rotación R' del vector R . Con un mismo modelo matemático básico, a cada condicionado complementario le corresponderá una matriz rotación Γ^T representativa de una solución de la red, expresada por un vector R de módulo constante e igual a k y componentes variables R_i con $i \in 1,2,3,\dots,m$.

Si la matriz pesos es diagonal $P = (\text{diag } p_i)$ con la notación usual, se cumplirá también teniendo en cuenta $HES = R^T \cdot P \cdot R$ y $\Gamma^T \cdot (Ax - K)$ que

$$\Gamma^T \cdot \sqrt{P} \cdot (Ax - K) = \Gamma^T \cdot \sqrt{P} \cdot R = \Gamma^T \cdot R'' = R'$$

conservando la notación Γ^T y R' por tener idéntico significado físico que en el caso anterior. Y se sigue

$$\begin{aligned} R^T \cdot P \cdot R &= R''^T \cdot R'' = \left(\sqrt{P} \cdot (Ax - K)\right)^T \cdot \left(\sqrt{P} \cdot (Ax - K)\right) = \\ &= \left(\Gamma^T \cdot \sqrt{P} \cdot (Ax - K)\right)^T \cdot \left(\Gamma^T \cdot \sqrt{P} \cdot (Ax - K)\right) = \left(\Gamma^T \cdot R''\right)^T \cdot \left(\Gamma^T \cdot R''\right) = R'^T \cdot R' \end{aligned}$$

Que es la generalización de la hiperesfera HES a la HES en el espacio m -dimensional, E^m de ecuación $|\sqrt{P} \cdot R|^2 = k^2$. El vector R de partida referido al hiperelipsoide HE es ponderado según la matriz diagonal P , obteniéndose R'' y quedando referido a la hiperesfera HES. La ulterior rotación Γ^T da lugar a cualquier solución arbitraria, con el mismo condicionado del caso anterior de pesos unitarios.

Con lo que queda incluso reiteradamente justificada la interpretación geométrica establecida en el epígrafe anterior.

Pero si practicamos en $R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$ la rotación Γ^T directamente al vector R del caso anterior, con $P = (\text{diag } p_i)$, se obtiene sucesivamente

$$\Gamma^T \cdot R = R'$$

$$\Gamma' \cdot \Gamma^T \cdot R = R = \Gamma' \cdot R'$$

$$R^T \cdot P \cdot R = (\Gamma^T \cdot R')^T \cdot P \cdot (\Gamma^T \cdot R') = R'^T \cdot \Gamma^T \cdot P \cdot \Gamma' \cdot R' = R'^T \cdot P' \cdot R'$$

donde por definición de factorización, P' es una matriz completa.

Lo que en principio puede parecer paradójico, ya que P es una matriz diagonal de pesos y su inversa Q es la matriz cofactor de varianzas a priori, también diagonal, así como la matriz varianza covarianza a priori de observables $\Sigma_0 = s^2 \cdot P^{-1} = s^2 \cdot Q$, siendo s^2 el factor de varianza, definiéndose así los observables como estadísticamente independientes. Es lícito así mismo aceptar la hipótesis de Gauss Marcov y ajustar por mínimos cuadrados, si previamente se demuestra por aplicación del Test de Pearson o por cualquier otro procedimiento, que R y R' presentan distribuciones normales.

Pero la aplicación de una rotación Γ^T al vector R genera P' , matriz de pesos generalizada, y Q' cofactor de varianzas, que son ahora dos matrices completas y en principio indicarían la aparente presencia de covarianzas inducidas artificialmente, sin justificación física alguna, entre los observables.

La explicación se encuentra en que la rotación del vector R hasta R' desplaza al afijo de este último fuera del hiperelipsoide canónico

$$HE \equiv R^T \cdot P' \cdot R' = k^2 = \text{mínimo}$$

lugar de las soluciones de la red, situándole sobre el hiperelipsoide rotado del anterior alrededor de su centro

$$R^T \cdot P' \cdot R' = k^2$$

que es ajeno a aquellas. Así, R' no es solución de la red propuesta.

Recíprocamente, factorizar una matriz de pesos generalizada completa P a priori da lugar a

$$R^T \cdot P \cdot R = R^T \cdot \Gamma \cdot V \cdot \Gamma^T \cdot R = (\Gamma^T \cdot R)^T \cdot V \cdot (\Gamma^T \cdot R) = R'^T \cdot V \cdot R'$$

pasando ahora por medio de una rotación de sentido inverso a la anterior, de un hiperelipsoide cualquiera con centro en el de coordenadas, a su posición canónica respecto a los mismos ejes. Y en definitiva y con el mismo razonamiento del caso anterior, no es lícito ajustar la red con $P' = V = (\text{diag } \mu_i)$

tomando como matriz de pesos P' la matriz diagonal de autovalores μ_i , $i \in (1, 2, \dots, m)$ con la notación usual y R' vector de correcciones.

Es trivial que solamente podría aceptarse, y como solución aproximada, si la rotación es diferencial y despreciable. Pero no como práctica habitual, debido a su evidente falta de rigor.

No es posible aplicar Gauss-Marcov con matrices de pesos completas ni resolver la aparición de covarianzas mediante una rotación. Pero ciñéndonos a observables GNSS vamos a ver que puede resolverse rigurosamente la cuestión actuando sobre ellos, modificándolos. Y más adelante logrando a priori unificar todos los pesos, alcanzando en el límite su hiperelipsoide la condición de hiperesfera.

4.2.3. CASO DE OBSERVABLES GNSS Y RELACIONADOS CON ELLOS

Es obvio que un observable aislado de O_i , $i =$ orden del observable, $i \in (1, 2, \dots, m)$, $m > n =$ número de coordenadas a determinar, es por definición estadísticamente independiente. Podrá estudiarse y establecerse su distribución, que será normal o no, pero solamente se podrá hablar de covarianzas cuando se considere su relación con el resto de los observables componentes del vector O . Esta relación debe establecerse en su caso por el proyectista y según veremos en seguida, puede actuar sobre ella con provecho para el trabajo en presencia.

En general y por lo tanto, una función cualquiera

$$G(O) = 0$$

supone la existencia de covarianzas σ_{ij} entre los observables de dichos subíndices. En su caso más general, las matrices de diseño: varianza covarianza Σ_0 , cofactor Q y de pesos P resultarían completas, así como sus inversas.

En la práctica y como supuesto y ejemplo más frecuente, si consideramos en planimetría la expresión de la distancia reducida l_{ij} entre dos vértices I, J , referidos a unos ejes Oxy, puede escribirse en general, sean observables a priori, compensados a posteriori, o, simplemente, valores calculados

$$l_{IJ} = (\Delta x_{IJ}^2 + \Delta y_{IJ}^2)^{\frac{1}{2}}$$

e indudablemente, es lícito suponer que ningún observable del tipo l_{OIJ} guarda relación a priori con otro l_{OKL} . Por lo tanto, no se tendrán en cuenta covarianzas del tipo $\sigma_{l_{OIJ}l_{OKL}}$ y

su matriz varianza covarianza a priori $\Sigma l_{o_{ij}}$ resulta así una matriz diagonal y se representará, con todo rigor y como consecuencia de lo expuesto según

$$\Sigma l_{o_{ij}} = \begin{bmatrix} \sigma_{l_{o_{12}}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{l_{o_{23}}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{l_{o_{ij}}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{l_{o_{km}}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{l_{o_{(n-3)(n-2)}}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{l_{o_{(n-1)n}}}^2 \end{bmatrix} =$$

$$= (\text{diag } \sigma_{l_{o_{ij}}}^2) \quad i, j \in 1, 2, 3, \dots (n-1), n \quad i \neq j$$

y ello sean los observables de origen clásico o GNSS .

Evidentemente matriz varianza covarianza a priori $\Sigma l_{o_{ij}}$ genera así mismo la matriz de pesos a priori

$$\Sigma l_{o_{ij}}^{-1} = P_{l_{o_{ij}}} = \left(\text{diag } \frac{1}{\sigma_{l_{o_{ij}}}^2} \right)$$

Siendo de aplicación toda la teoría conocida, recomendándose no obstante y por supuesto lo ponderación según Pearson por la mediana.

Si los observables son del tipo $(\Delta x_{oIJ}, \Delta y_{oIJ})$ apareados, también caso planimétrico, o el proyectista estima más procedente considerarlos así, deberá tenerse en cuenta la existencia de covarianzas $\sigma_{\Delta x_{oIJ} \Delta y_{oKL}}$ y las matrices varias veces citadas serán completas, de tipo banda, procedan indirectamente de observables clásicos o directamente de observables GNSS. Su estructura será como la que se escribe a continuación.

Y retrocediendo al caso anterior, de nuevo los ceros de la matriz banda ponen de manifiesto la independencia de las reducidas de cada eje observado. Y se reitera la imposibilidad de establecer a priori una relación funcional entre ellas y por lo tanto se confirma con todo rigor la estructura de la matriz varianza covarianza como una matriz diagonal como la matriz varianza covarianza a priori $\Sigma_{l_{oij}}$.

$$\Sigma_o = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x_{o12}}^2 & \sigma_{\Delta x_{o12}, \Delta y_{o12}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{\Delta x_{o12}, \Delta y_{o12}} & \sigma_{\Delta y_{o12}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{oij}}^2 & \sigma_{\Delta x_{oij}, \Delta y_{o1ij}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{oij}, \Delta y_{o1ij}} & \sigma_{\Delta y_{o1ij}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{o(n-1)-n}}^2 & \sigma_{\Delta x_{o(n-1)-n}, \Delta y_{o(n-1)-n}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{o(n-1)-n}, \Delta y_{o(n-1)-n}} & \sigma_{\Delta y_{o(n-1)-n}}^2 \end{bmatrix}$$

Expresión matriz banda Σ_o varianza covarianza de observables

Retomando la exposición, con todo ello no se hace sino respetar y adherirnos al consenso más generalizado de la opinión científica del momento. En la matriz banda se representa según es usual con la notación subíndice IJ una pareja de observables planimétricos, GNSS, o clásicos, entre los vértices I, J , que se han supuesto ordenados de alguna forma para simplificar la notación, proyecciones $\Delta X, \Delta Y$, de la reducida l_{oij} sobre los ejes coordenados, y siendo σ^2 la varianza de los observables considerados. Se

representan solo ejes observados y ordenados entre puntos consecutivos desde el 1-2 hasta el (n-1)-n, entendiéndose incluidos en la matriz todos los demás, caso más general posible, siendo n el número de coordenadas planas de la red.

La matriz banda varianza covarianza resulta simétrica y sus elementos distintos de cero se sitúan exclusivamente sobre la diagonal principal, la diagonal inmediatamente superior, y su simétrica respecto de la primera. No existe covarianza alguna entre coordenadas de vértices cuya reducida no haya sido observada y proyectada sobre los ejes según la bien conocida tecnología GNSS o deducida a partir de observables clásicos.

En general, no se cumple la condición de probabilidad máxima observacional del método y la matriz y sus matrices deducidas Q y P impiden la aplicación rigurosa del algoritmo de mínimos cuadrados.

No obstante, está también en manos del proyectista elegir a su buen gobierno sus propios observables. Y contando con la disposición de éstos en abundancia, supuesto siempre asumible en microgeodesia donde el número de vértices de la red en general es escaso, prima la exactitud, y decae frente a ella la importancia de la reiteración observacional en campo, *siendo evidente que si se suprime un observable de la pareja Δx_{ij} , Δy_{ij} , desaparece la covarianza que relaciona a los dos, al igual que si separamos la pareja tomando por un lado Δx_{ij} y por otro Δy_{ij} . Dicha decisión es potestativa del proyectista y aplicada adecuada y reiteradamente permite suprimir todas las covarianzas y reducir al ajuste al supuesto fundamental, Q, y P, matrices diagonales.*

Se aplica el cálculo del ajuste por el procedimiento Gauss-Marcov y queda resuelto el problema, siendo posible desarrollar el principio expuesto en una metodología más amplia

en algoritmo y aplicaciones que se han denominado “de ajuste gaussiano por incrementos de coordenadas” en la que ni tan siquiera se desaprovechan observables útiles.

Con ello queda resuelta la cuestión, se entiende que rigurosamente y en toda su generalidad. Con la ventaja adicional del empleo de matrices de diseño A de Elementos Exactos, como se verá más adelante.

Pueden así ajustarse rigurosamente redes GNSS, mixtas y clásicas, transformando los observables a la forma incremental desarrollada.

4.2.4. TEORÍA Y PRAXIS DE AJUSTE DOBLE POR INCREMENTOS DE COORDENADAS: UNA SOLUCIÓN RIGUROSA.

En síntesis, una observación GNSS facilita la posición aproximada de un punto respecto a otro, con respecto a un sistema de coordenadas tridimensional que generalmente es el del elipsoide WGS84.

En la actualidad y en aplicaciones topográficas no existe mayor problema para trasladar los resultados de las observaciones, incluso a través del mismo instrumento y en tiempo real, a cualquier sistema OXYZ de coordenadas cartesianas rectangulares topográficas locales arbitrariamente escogido, con suficiente precisión y para cualquier exigencia razonable. A dicho sistema se supone en cuanto sigue referidos los observables genéricos, sean o no GNSS, que designaremos con la notación $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}$, proyecciones sobre los ejes de la distancia entre los vértices $I(X_i, Y_i, Z_i)$ y $J(X_j, Y_j, Z_j)$.

Así, entre dos puntos M y P se podrá escribir

$$X_M - X_P = \Delta X_{MP0} + R_{X_{MP}}$$

$$Y_M - Y_P = \Delta Y_{MP0} + R_{Y_{MP}}$$

$$Z_M - Z_P = \Delta Z_{MP0} + R_{Z_{MP}}$$

Extendidas las expresiones a todos los vértices de la red, se obtiene el sistema de formas lineales específicas, según metodología conocida,

$$AX = K + R$$

Cuya inmediata resolución por mínimos cuadrados proporciona directamente las coordenadas compensadas.

En el supuesto que de alguna manera se haya establecido un vector de coordenadas aproximadas $X_a = X - x$, se tendrá

$$X_{Ma} - X_{Pa} + x_M - x_P = \Delta X_{MP0} + R_{X_{MP}}$$

$$Y_{Ma} - Y_{Pa} + y_M - y_P = \Delta Y_{MP0} + R_{Y_{MP}}$$

$$Z_{Ma} - Z_{Pa} + z_M - z_P = \Delta Z_{MP0} + R_{Z_{MP}}$$

Y sucesivamente

$$x_M - x_P = \Delta X_{MP0} - (X_{Ma} - X_{Pa}) + R_{X_{MP}}$$

$$y_M - y_P = \Delta Y_{MP0} - (Y_{Ma} - Y_{Pa}) + R_{Y_{MP}}$$

$$z_M - z_P = \Delta Z_{MP0} - (Z_{Ma} - Z_{Pa}) + R_{Z_{MP}}$$

$$x_M - x_P = \Delta X_{MP0} - \Delta X_{MPa} + R_{X_{MP}}$$

$$y_M - y_P = \Delta Y_{MP0} - \Delta Y_{MPa} + R_{Y_{MP}}$$

$$z_M - z_P = \Delta Z_{MP0} - \Delta Z_{MPa} + R_{Z_{MP}}$$

es decir

$$\text{Correcciones} = \text{Valores Observados} - \text{Valores Calculados} + \text{Residuos}$$

sistema de formas lineales que puede escribirse en la forma usual $Ax - K = R$, idéntico al utilizado en ajuste de redes clásicas, de observación azimutal y/o distanciométrica, que puede integrarse con ellas formando el conjunto de lo que llamaremos “red completa”.

Es subrayable que, en el caso completo mencionado y a partir de los observables clásicos, siempre se podrá disponer a priori de un vector de coordenadas aproximadas $X_a = X - x$.

La matriz de diseño A es del tipo de las que llamamos “de elementos exactos”, de teoría y praxis bien conocida.

Supuesta la dependencia de observables, que da lugar a que su matriz a priori de varianzas sea completa y de tipo banda como la matriz anteriormente explicada y convertidos y referidos los observables GNSS al sistema local de ejes del levantamiento, procede la ulterior aplicación del método y Test de Pearson para definir estadísticamente la mejor estimación de la matriz citada.

Se ha visto que la relación de dependencia de observables y su evaluación forma parte del trabajo y buen hacer subjetivo del proyectista. No son matemáticamente graduables, y menos aún rigurosamente cifrables, e igual que en las redes clásicas se refiere a posteriori a la cumplimentación sobrevenida de condiciones de geometricidad, *y se acepta la aparición de covarianzas, en redes GNSS se obrará igual. Solo que a priori, lo que es esencial para*

determinar la aplicación o no del ajuste gaussiano, aceptando que basta con tener en cuenta que el módulo del vector distancia entre dos vértices

$$L_{MP}^2 = \Delta X_{MP}^2 + \Delta Y_{MP}^2 + \Delta Z_{MP}^2$$

corresponde a una realidad física indudable que implica aceptar la existencia de covarianzas entre los observables – componentes.

En dicho supuesto y aplicado a planimetría, sin dificultad alguna para completarlo con la altimetría cuando sea preciso se escribe la forma bidimensional

$$L_{MP}^2 = \Delta X_{MP}^2 + \Delta Y_{MP}^2$$

y también y con la notación bien conocida

$$l_{MP} = l_{MPca} + dl_{MPca} = l_{MPo} + R_{IMPo}$$

cuya forma lineal es

$$\begin{aligned} -\frac{X_{Pa} - X_{Ma}}{l_{MPca}} \cdot dX_M - \frac{Y_{Pa} - Y_{Ma}}{l_{MPca}} \cdot dY_M + \frac{X_{Pa} - X_{Ma}}{l_{MPca}} \cdot dX_P + \frac{Y_{Pa} - Y_{Ma}}{l_{MPca}} \cdot dY_P = \\ = l_{MP} - l_{MPca} + R_{IMPo} \end{aligned}$$

o bien

$$\begin{aligned} -\frac{\Delta X_{MPa}}{l_{MPca}} \cdot dX_M - \frac{\Delta Y_{MPa}}{l_{MPca}} \cdot dY_M + \frac{\Delta X_{MPa}}{l_{MPca}} \cdot dX_P + \frac{\Delta Y_{MPa}}{l_{MPca}} \cdot dY_P = \\ = l_{MP} - l_{MPca} + R_{IMPo} \end{aligned}$$

con

$$L_{MPca}^2 = l_{MPca}^2 = \Delta X_{MPa}^2 + \Delta Y_{MPa}^2$$

Y queda la cuestión fundamental a resolver en qué condiciones puede aceptarse la cumplimentación de la condición Gauss–Marcov, junto con el adecuado tratamiento de las covarianzas a priori. En una palabra, la única opción sensata pasa por calcularse algún estimador fiable de la matriz banda Σ_0 varianza covarianza de observables.

A juicio del proyectista, puede aceptarse la aplicación de cualquiera de los programas, instrumentales o no, que existen en el mercado para obtener Σ_0 . Sin embargo, se entiende preferible y con mayor poder de afirmación realizar la estimación específica en cada ajuste y caso particular.

Un método adecuado es el clásico antes citado debido a Karl Pearson, que requiere la comprobación previa de la normalidad de las variables a estudiar.

Hecho esto, se calcula para cada componente $(\Delta X_{MP0}, \Delta Y_{MP0})$ de los lados observados $l_{MP0} = O_{li}$ al variar M, P , los estadísticos siguientes con los que calculamos la matriz varianza covarianza Σ_0 :

$$\sigma_{\Delta X_{MP}}^2 = \frac{\sum(\Delta X_{MP0} - \bar{\Delta X}_{MP0})^2}{n_{MP} - 1} = \text{varianza de } \Delta X_{MP0}$$

$$\sigma_{\Delta Y_{MP}}^2 = \frac{\sum(\Delta Y_{MP0} - \bar{\Delta Y}_{MP0})^2}{n_{MP} - 1} = \text{varianza de } \Delta Y_{MP0}$$

$$\hat{\sigma}_{\Delta X_{MP} \Delta Y_{MP}} = \frac{\sum(\Delta X_{MP0} - \bar{\Delta X}_{MP0}) \cdot (\Delta Y_{MP0} - \bar{\Delta Y}_{MP0})}{n_{MP} - 1} = \text{covarianza de } \Delta X_{MP0} \Delta Y_{MP0}$$

$$C\hat{R}_{\Delta X_{MP}, \Delta Y_{MP}} = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta X_{MP0}, \Delta Y_{MP0}}}{\hat{\sigma}_{\Delta X_{MP0}} \cdot \hat{\sigma}_{\Delta Y_{MP0}}} = \text{coeficiente de correlación de } \Delta X_{MP0} \Delta Y_{MP0}$$

Así puede formarse la matriz banda varianza covarianza de los observables a priori Σ_0 .

Pueden incluso calcularse y grafarse también las líneas de regresión y se recuerda que:

$$-1 \text{ (máxima correlación negativa)} \leq CR \leq +1 \text{ (máxima correlación positiva)}$$

CR = 0 indica independencia de variables

Pues bien, si después de aplicar con éxito el Test de Pearson, ratificando la distribución normal de las variables estudiadas, se forma Σ_{l_0} , matriz varianza covarianza, y se aprecia que las covarianzas resultantes en conjunto son a juicio del proyectista suficientemente pequeñas, y si, además, los coeficientes de correlación se encuentran en el entorno de cero, puede afirmarse que no existe relación entre las variables ΔX_{MP_0} , ΔY_{MP_0} , a fortiori tampoco entre las l_{MP_0} y en el caso en estudio está justificado efectuar el ajuste gaussiano por el procedimiento usual a los observables GNSS, por separado observables ΔX e ΔY y así mismo englobados en una red completa.

Naturalmente y según costumbre, ese desideratum no acostumbrará a suceder y serán mucho más frecuentes los casos dudosos.

Entonces procede actuar sobre los observables, suprimiendo los suficientes para conseguir matrices parciales diagonales Σ_0' y aplicar a cada una de ellas el procedimiento general de ajuste.

Dichas matrices deben permitir en principio calcular la totalidad de las coordenadas de los vértices de la red, siendo buena práctica no desaprovechar trabajo útil de campo y utilizar todos los observables aceptados tras el Test de Pearson encuadrándolos adecuadamente en distintas matrices individualizadas.

Se formularán matrices que permitan calcular separadamente todas las correcciones “x” y todas las “y”. Bastará para ello con formar separadamente las matrices de los observables ΔX e ΔY . Teniendo en cuenta no obstante que ambas soluciones serán Gauss Marcov.

Caben por supuesto todas las combinaciones intermedias dictadas por el buen juicio del proyectista ante la exigencia y mejor cumplimentación del trabajo encomendado.

4.2.5. POSIBLES SOLUCIONES APROXIMADAS

Suponemos determinada la matriz general varianza covarianza de observables Σ_0 a través del algoritmo de Pearson, según la doctrina referida aplicada específicamente al ajuste en presencia. El resultado obtenido es tal vez más artesanal, pero individualizado y difícilmente discutible, supuesto fruto de una observación adecuada instrumentalmente, metodológicamente rigurosa y suficientemente reiterada para que el vector de observables sea geodésica y estadísticamente correcto. En caso contrario, es inútil seguir adelante. De nuevo se insiste en considerar menos fiable la aplicación automática de programas comerciales acompañen o no a la instrumentación empleada.

A juicio del proyectista, puede suceder que considere las covarianzas obtenidas despreciables frente a las varianzas. Es un caso banal de resolución inmediata.

En general, aunque solo sea por inevitables errores de muestreo, siempre aparecerán covarianzas en mayor o menor magnitud y cuantía. Estas covarianzas aparentes estimadas deberán ser juzgadas y, en su caso, despreciadas y no se tendrán en cuenta, también según criterio del proyectista. Es el caso de observables clásicos triangulados, trilaterados, y triangulaterados y observables GNSS triangulaterados, todos a priori independientes.

Sin embargo, si específicamente se refiere al caso de observables GNSS planimétricos ΔX e ΔY a priori dependientes, como los contemplados en $R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$ y en

dicho supuesto, es muy improbable que las covarianzas $\hat{\sigma}_{\Delta X_{MP}\Delta Y_{MP}}$ resulten ó puedan considerarse despreciables.

Un primer recurso consiste en factorizar Σ_0 , completa, y en consecuencia Q y P que aceptamos como matriz de pesos generalizada. Así escribimos, con la notación usual

$$R^T \cdot \Gamma \cdot V \cdot \Gamma^T \cdot R = (\Gamma^T \cdot R)^T \cdot V \cdot (\Gamma^T \cdot R) = R'^T \cdot V \cdot R' = k^2 = \text{mínimo}$$

con

$$R' = \Gamma^T \cdot R$$

que no es una solución Gauss Marcov.

R' es el vector R sometido a una rotación Γ^T siendo Γ matriz de autovectores columna de P . R' y R tendrán el mismo módulo y distintos componentes.

De tomarse R' por R y V , matriz diagonal de autovalores de P por P' , matriz diagonal de pesos, se obtendrán X' y C' , soluciones aproximadas distintas de X y C , que se saben no gaussianas, por situarse el afijo de R' según hemos visto fuera del lugar geométrico de R . *Puede definirse como solución aproximada de la red, con un modelo matemático desconocido y distinto a la expresión general $F(X) - C = 0$, caso observaciones indirectas, de universal aplicación y único que se considera, si resulta despreciable la rotación Γ^T .*

Siempre teniendo en cuenta que el modelo matemático de obligado cumplimiento que define e individualiza la solución del ajuste y la correspondiente aplicación mínimo cuadrática gaussiana son teóricamente incompatibles por la condición de P como matriz banda.

La factorización permite la aplicación descrita con una aproximación que, a lo menos, es conveniente estudiar.

El criterio de aceptación o rechazo puede basarse en la propia matriz cuadrada Γ de rango completo $R(\Gamma) = m = \text{número de componentes } R_i \text{ de } R$ a determinar, que se define como “columna” por estar formadas éstas por los componentes de los autovectores de P en dicha disposición, que representamos por la notación

autovectores columna = $v_i, i \in 1,2,3, \dots, m$

$$v_i = \begin{pmatrix} v_{i1} \\ v_{i2} \\ \dots \\ v_{ik} \\ \dots \\ v_{im} \end{pmatrix}$$

$$\text{matriz } \Gamma = (v_1 \ v_2 \ v_3 \ \dots \ v_m)$$

Será tanto más aceptable la solución propuesta cuanto mejor cumpla Γ la condición

$$v_{ik} \cong 0 \rightarrow k \neq j$$

$$v_{ij} \cong 1$$

en el límite de dicho supuesto la transformación puede considerarse diferencial y despreciable. Llegando a ser Γ matriz próxima a la matriz identidad.

4.2.6. SÍNTESIS Y CONCLUSIÓN

La condición Gauss-Marcov aplicable al ajuste de una red local o microgeodésica se expresa según:

$$R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$$

siendo la matriz P generalizada, una matriz cuadrada, completa, simétrica, de rango completo y factorizable según $R^T \cdot \Gamma \cdot V \cdot \Gamma^T \cdot R = (\Gamma^T \cdot R)^T \cdot V \cdot (\Gamma^T \cdot R) = R^T \cdot V \cdot R' = k^2 = \text{mínimo}$, esta expresión representa un haz de hiperelipsoides concéntricos en el espacio euclídeo E^m , con centro en el eje de coordenadas, al variar el parámetro k^2 . Cada k^2 da lugar a un hiperelipsoide HEG . Se insiste en que existen covarianzas a priori entre los observables y sus residuos.

Las soluciones Gauss-Marcov del ajuste de una red local se generan y relacionan con aquella cuando el haz es canónico y $k^2 = \text{mínimo}$. Entonces $P = (\text{diag}_{p_i})$ cuadrada, diagonal y de rango completo. El hiperelipsoide HE resultante, canónico, referido a sus ejes, es el lugar geométrico de los afijos de R , soluciones de la red. Un modelo matemático linealizado $Ax - K = R$, con $R(A) = m - n$, completo, particulariza R y da lugar a la solución determinista única que se ha estudiado, aplicada a la determinación de un solo vértice variable. Si $R(A) < m - n$, incompleto, caso red libre, habrá infinitas soluciones, situación de notable utilidad en otros aspectos de la teoría de redes, con determinación de más de un vértice variable y división de la red en distintas zonas específicas, que ahora no se contempla. En cualquier caso, no existen covarianzas a priori entre los observables o sus residuos.

En el caso general, si $k^2 = \text{mínimo}$ se obtiene un hiperelipsoide genérico HEG' que no es una solución Gauss-Marcov rigurosa. La factorización de la matriz P conduce al mismo resultado que una rotación de argumento Γ^T siendo Γ matriz de autovectores columna de P y refiere HEG' a sus ejes, con expresión canónica $R^T \cdot \Gamma \cdot V \cdot \Gamma^T \cdot R = (\Gamma^T \cdot R)^T \cdot V \cdot (\Gamma^T \cdot R) = R^T \cdot V \cdot R' = k^2 = \text{mínimo}$

$$HE' = R^T \cdot V \cdot R' = k^2 = \text{mínimo}$$

que es una solución Gauss-Marcov de una cierta red de matriz diagonal de pesos

$$P' = V = (\text{diag } v_i)$$

con un modelo matemático y condicionado complementario desconocidos, que pueden aceptarse por aproximada de la red en presencia con todas las reservas necesarias y siempre de acuerdo con el contenido del epígrafe anterior.

Así mismo y en el caso general, si todos los autovalores de P resultaran iguales, según $v_i = v$, se tendrá

$$\begin{aligned} R^T \cdot \Gamma \cdot V \cdot \Gamma^T \cdot R &= R^T \cdot \Gamma \cdot (\text{diag } v) \cdot \Gamma^T \cdot R = R^T \cdot v \cdot (\Gamma \cdot \Gamma^T) \cdot R = R^T \cdot v \cdot I \cdot R = \\ &= R^T \cdot (\text{diag } v) \cdot R = R^T \cdot V \cdot R = (\sqrt{v} \cdot R)^T \cdot (\sqrt{v} \cdot R) = R'^T \cdot R' = k^2 = \text{mínimo} \end{aligned}$$

resultando HEG' particularizado como una hiperesfera HES' , de radio k , transformada por homotecia de la HES de radio $\frac{1}{\sqrt{v}} \cdot k$, lugar geométrico de soluciones rigurosas Gauss-Marcov de modelos desconocidos. No existen tampoco, como debe ser, covarianzas a priori.

Y es claro que una rotación arbitraria Γ^T transforma HE , lugar de soluciones Gauss Marcov, en HEG' fuera de dicho lugar, originando la aparición de covarianzas inducidas a priori. Y cuanto se ha dicho de HE y HEG' puede decirse correlativamente del afijo del vector R , solución Gauss-Marcov, y del afijo del vector R' , rotado de R que no es solución.

En conclusión, la solución Gauss-Marcov es rigurosamente incompatible con las covarianzas estudiadas aparecidas a priori o inducidas, que siempre pueden explicarse a través de una rotación directa genérica de matriz Γ^T o Γ'^T , o una rotación inversa Γ o Γ' , del n-edro coordinado. Pueden evitarse modificando los observables, en especial los GNSS

según se explica en los epígrafes anteriores, aplicando triangulación o doble ajuste por incrementos de coordenadas. Con ello se resuelve rigurosamente el problema.

Merece la pena no obstante y en la práctica estudiar la posibilidad de existencia de solución aproximada.

Finalmente, es claro que la solución HES, hiperesfera, permite una capacidad de proyecto y diseño muy superior a la HE, hiperelipsoide, y debe perseguirse. Conduce a proyectar redes de observables lo más aproximados a equiprecisos y a la aplicación ulterior de técnicas relacionadas con el conocido Problema de Diseño de Orden Dos PD2. En cualquier caso, nos hallamos de nuevo ante una cuestión de proyecto y tratamiento de pesos de observables. En otro orden de ideas, debe ser preceptivo para el proyectista garantizar la aplicación correcta a posteriori de los F-Test y χ^2 -Test en el entorno de sus óptimos respectivos asegurándose de que número de observables y redundancias estén relacionados convenientemente.

Para avanzar en el campo de los recintos de error en redes locales, cualquiera que sea su dimensión y sean totales o específicos, se desarrolla la idea de que se entiende novedosa sobre el paralelismo existente entre el hiperelipsoide a priori de observables $R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$.

$$HE_o = R^T \cdot P \cdot R = R^T \cdot \sigma^2 \cdot \Sigma_0^{-1} \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$$

y el de correcciones a posteriori

$$HE_{xx} = x^T \cdot S \cdot x = x^T \cdot A^T \cdot P \cdot A \cdot x = x^T \cdot \sigma^2 \cdot \sigma_{xx}^{-1} \cdot x = f_\alpha^2$$

a los que por primera vez se distingue por medio de los subíndices “o” y “xx”. Ambos, por ejemplo, dependen de P y del vector $K = O_T - O_C$, diferencia entre valores observados y

calculados de los observables. Es decir y como era de esperar, de la calidad del trabajo en campo, exigiendo que sea excelente.

4.3. PROCESAMIENTO DE LOS VECTORES DE LA RED CON LA APLICACIÓN DDBASE.

Se procede al cálculo de todos los vectores correspondientes a las líneas bases de la red local en estudio. Esta observación, ya se ha comentado con anterioridad, se realizó en 2 campañas.

Resaltar que, a efectos de validación y análisis de la aplicación DDBase, se procesan todas la líneas base de la red local, en ambas observaciones, con la finalidad de profundizar más en el conocimiento de la aplicación DDBase y para posibles casos prácticos futuros, siendo perfectamente consciente de que existen líneas base entre vértices fijos de la red que no aportarán parámetros significativos al resultado final; ya que para realizar la densificación de la Red de Calibración de la UPV exclusivamente se necesitarán las líneas base V1V2, V2V3 y V2V4.

- 1ª OBSERVACIÓN

Tuvo lugar el día 24 de Noviembre de 2010, desde las 9:00h hasta las 11:00h, registrándose datos en intervalos cada 15 segundos. Esta fecha de observación corresponde con la semana GPS 1611 y con el día 328 GPS.

Se han obtenido de cada vértice los ficheros de observación Rinex en formato estándar, denominados: Vert13280.10o, Vert23280.10o, Vert33280.10o y Vert43280.10o.

Para ejecutar la aplicación DDBase⁵⁸ se tiene que definir un fichero ejecutable, con extensión *txt*, en el que se incluyan todos los comandos que definen el procesamiento de la observación realizada.

⁵⁸ Cfr. capítulo 2.4.2. Funcionamiento DDBase.

Los ficheros ejecutables que se han utilizado para el procesamiento de la red local en esta primera campaña, se denominan: baseV1V2.txt, baseV1V3.txt, baseV1V4.txt, baseV2V3.txt, baseV2V4.txt y baseV3V4.txt .

Se muestran a continuación los ficheros que se han ejecutado para obtener todas las líneas base existentes en esta red local:

- **Línea base V1V2 (fichero baseV1V2.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS1	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile Vert13280.10o,VERT1	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile Vert23280.10o,VERT2	
--NavPath /home/nieves/GNSS1	Directorio donde se encuentra el fichero de efemérides.
--NavFile igs16112.sp3	Nombre de los ficheros que contienen las efemérides. Es recomendable utilizar también el día anterior y el día posterior a la observación. Se han utilizado efemérides precisas del Internacional GNSS Service (IGS).
--NavFile igs16113.sp3	
--NavFile igs16114.sp3	
--EOPPath /home/nieves/GNSS1	Ubicación del fichero EOPFile.
--EOPFile EOPP0328.TXT	Nombre del fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo. Estos parámetros utilizados pertenecen a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA).
--EOPFile EOPP0327.TXT	
--PosXYZ 4929596.1917,- 29122.8518,4033599.0829,VERT1	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929602.4378,- 29186.6037,4033591.6848,VERT2	
--Fix VERT1	VERT1 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
--Freq L1	Se procesarán los datos de observación con la frecuencia L1.
--FixBiases	Esta opción indica a DDBase que obligue a que los valores de la ambigüedad sean enteros en la última iteración de la estimación. Fijar ambigüedades
--DT 15	El intervalo del tiempo de observación son 15 segundos.
--BaseOut VERT1-VERT2	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VERT1 y VERT2.
--verbose	Fichero de salida que incluye información más completa que la opción por defecto.

Para evitar tanta repetibilidad se muestra exclusivamente la parte del fichero ejecutable que se modifica para cada línea base calculada respecto al fichero anterior:

- **Línea base V1V3 (fichero baseV1V3.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS1	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile Vert13280.10o,VERT1	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile Vert33280.10o,VERT3	
.....
--PosXYZ 4929596.1917,- 29122.8518,4033599.0829,VERT1	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929562.8911,- 29212.6391,4033638.7919,VERT3	
.....
--BaseOut VERT1-VERT3	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VERT1 y VERT3.

- **Línea base V1V4 (fichero baseV1V4.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS1	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile Vert13280.10o,VERT1	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile Vert43280.10o,VERT4	
.....
--PosXYZ 4929596.1917,- 29122.8518,4033599.0829,VERT1	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929555.9138,- 29145.0622,4033647.2836,VERT4	
.....
--BaseOut VERT1-VERT4	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VERT1 y VERT4.

- **Línea base V2V3 (fichero baseV2V3.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS1	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile Vert23280.10o,VERT2	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile Vert33280.10o,VERT3	
.....
--PosXYZ 4929562.8911,- 29212.6319,4033638.7919,VERT3	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929602.4378,- 29186.6037,4033591.6848,VERT2	
--Fix VERT3	VERT3 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
.....
--BaseOut VERT2-VERT3	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VERT2 y VERT3.

- **Línea base V2V4 (fichero baseV2V4.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS1	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile Vert23280.10o,VERT2 --ObsFile Vert43280.10o,VERT4	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
.....
--PosXYZ 4929555.9138,- 29145.0622,4033647.2836,VERT4 --PosXYZ 4929602.4378,- 29186.6037,4033591.6848,VERT2	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--Fix VERT4	VERT4 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
.....
--BaseOut VERT2-VERT4	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VERT2 y VERT4.

- **Línea base V3V4 (fichero baseV3V4.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS1	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile Vert33280.10o,VERT3 --ObsFile Vert43280.10o,VERT4	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
.....
--PosXYZ 4929562.8911,- 29212.6391,4033638.7919,VERT3 --PosXYZ 4929555.9138,- 29145.0662,4033647.2836,VERT4	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--Fix VERT3	VERT3 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
.....
--BaseOut VERT3-VERT4	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VERT3 y VERT4.

Posteriormente a la definición de dichos ficheros se debe introducir la siguiente expresión en la línea de comandos, desde el directorio donde se encuentran ubicados éstos:

DDBase -f<nombre fichero.txt>

Después del proceso de cálculo, en el directorio actual, se crearán los ficheros con extensión ***.log** que contiene los resultados y cualquier otra información de la ejecución de DDBase.

Se presenta los siguientes resultados para los incrementos de coordenadas de la red local:

1ª observación

V1V2	V1V3	V1V4	V2V3	V2V4	V3V4
X	X	X	X	X	X
-5,75998 L1 Fix	33,21926 L1 Fix	40,14931 L1 Fix	38,97221 L1 Fix	45,90768 L1 Fix	6,93391 L1 Fix
Y	Y	Y	Y	Y	Y
63,54626 L1 Fix	89,73399 L1 Fix	22,07467 L1 Fix	26,19431 L1 Fix	-41,47113 L1 Fix	-67,65953 L1 Fix
Z	Z	Z	Z	Z	Z
7,22696 L1 Fix	-39,6901 L1 Fix	-48,32639 L1 Fix	-46,91642 L1 Fix	-55,55343 L1 Fix	-8,63451 L1 Fix
vector	vector	vector	vector	vector	vector
64,21475 L1 Fix	103,5906 L1 Fix	66,59353 L1 Fix	66,37865 L1 Fix	83,14778 L1 Fix	68,5598 L1 Fix

- 2ª OBSERVACIÓN

La segunda campaña tuvo lugar el día 27 de Abril de 2011, desde las 9:50h hasta las 13:30h, registrándose los datos en intervalos cada 3 segundos. Esta fecha de observación corresponde con la semana GPS 1633 y con el día 117 GPS

Se han obtenido de cada vértice los ficheros de observación Rinex en formato estándar, denominados: v1.11o, v2.11o, v3.11o y v4.11o.

Los ficheros ejecutables que se han utilizado para el procesamiento de la red local en esta segunda observación, se denominan también: baseV1V2.txt, baseV1V3.txt, baseV1V4.txt, baseV2V3.txt, baseV2V4.txt y baseV3V4.txt.

Los comandos utilizados son básicamente los mismos, pero existen cambios sustanciales como deben ser:

- los nombres de los ficheros de observación, en este caso serán v1.11o, v2.11o, v3.11o y v4.11o.
- los ficheros de efemérides precisas, ya que se refieren al día de observación, día anterior y posterior,

- fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo,
- nombres de los ficheros de salida del procesamiento de datos.

- **Línea base V1V2 (fichero baseV1V2.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS2	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile v1.11o,V1	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile v2.11o,V2	
--NavPath /home/nieves/GNSS2	Directorio donde se encuentra el fichero de efemérides.
--NavFile igs16332.sp3	Nombre de los ficheros que contienen las efemérides. Es recomendable utilizar también el día anterior y el día posterior a la observación. Se han utilizado efemérides precisas del Internacional GNSS Service (IGS).
--NavFile igs16333.sp3	
--NavFile igs16334.sp3	
--EOPPath /home/nieves/GNSS2	Ubicación del fichero EOPFile.
--EOPFile EOPP1117.TXT	Nombre del fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo. Estos parámetros utilizados pertenecen a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA).
--EOPFile EOPP1118.TXT	
--PosXYZ 4929597.9212,- 29123.4093,4033600.1588,V1	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929601.7554,- 29186.8878,4033590.8877,V2	
--Fix V1	V1 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
--Freq L1	Se procesarán los datos de observación con la frecuencia L1.
--FixBiases	Esta opción indica a DDBase que obligue a que los valores de la ambigüedad sean enteros en la última iteración de la estimación. Fijar ambigüedades
--DT 3	El intervalo del tiempo de observación son 3 segundos.
--BaseOut V1-V2	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones V1 y V2.
--verbose	Fichero de salida que incluye información más completa que la opción por defecto.

Como en la 1ª observación y para evitar tanta repetibilidad se muestra exclusivamente la parte del fichero ejecutable que se modifica para cada línea base calculada respecto al fichero anterior:

- **Línea base V1V3 (fichero baseV1V3.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS2	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile v1.11o,V1	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile v3.11o,V3	
.....
--PosXYZ 4929597.9212,-	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de

29123.4093,4033600.1588,V1 --PosXYZ 4929564.9572,- 29213.1621,4033639.8596,V3	la antena ARP de la estación fija.
..... --BaseOut V1-V3	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones V1 y V3.

- **Línea base V1V4 (archivo baseV1V4.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS2	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile v1.11o,V1 --ObsFile v4.11o,V4	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
..... --PosXYZ 4929597.9212,- 29123.4093,4033600.1588,V1 --PosXYZ 4929558.5910,- 29145.6824,4033648.8136,V4	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
..... --BaseOut V1-V4	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones V1 y V4.

- **Línea base V2V3 (archivo baseV2V3.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS2	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile v3.11o,V3 --ObsFile v2.11o,V2	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
..... --PosXYZ 4929564.9572,- 29213.1621,4033639.8596,V3 --PosXYZ 4929601.7554,- 29186.8878,4033590.8877,V2 --Fix V3	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
..... --BaseOut V3-V2	V3 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento. Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones V2 y V3.

- **Línea base V2V4 (archivo baseV2V4.txt)**

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS2	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile v4.11o,V4 --ObsFile v2.11o,V2	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.

.....
--PosXYZ 4929558.5910,- 29145.6824,4033648.8136,V4	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929601.7554,- 29186.8878,4033590.8877,V2	
--Fix V4	V4 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
.....
--BaseOut V4-V2	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones V2 y V4.

• Línea base V3V4 (fichero baseV3V4.txt)

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS2	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile v4.11o,V4	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile v3.11o,V3	
.....
--PosXYZ 4929558.5910,- 29145.6824,4033648.8136,V4	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929564.9572,- 29213.1621,4033639.8596,V3	
--Fix V4	V4 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
.....
--BaseOut V4-V3	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones V3 y V4.

Se procede de la misma manera, para ejecutar la aplicación DDBase, que en la primera campaña y se obtienen los siguientes resultados para los incrementos de coordenadas:

2ª observación

V1V2	V1V3	V1V4	V2V3	V2V4	V3V4
X	X	X	X	X	X
-5,5846 L1 Fix	33,23168 L1 Fix	40,14829 L1 Fix	-38,81038 L1 Fix	-45,72825 L1 Fix	-6,92736 L1 Fix
Y	Y	Y	Y	Y	Y
63,54806 L1 Fix	89,72242 L1 Fix	22,0752 L1 Fix	-26,17178 L1 Fix	41,47279 L1 Fix	67,65004 L1 Fix
Z	Z	Z	Z	Z	Z
7,37479 L1 Fix	-39,6693 L1 Fix	-48,32572 L1 Fix	47,0416 L1 Fix	55,70491 L1 Fix	8,6466 L1 Fix
vector	vector	vector	vector	vector	vector
64,2178 L1 Fix	103,57659 L1 Fix	66,5926 L1 Fix	66,36352 L1 Fix	83,1511 L1 Fix	68,55129 L1 Fix

Tanto la primera observación como la segunda observación también se han procesado con el programa TTC (Total Trimble Control) versión 2.73 de Trimble para contrastar los resultados obtenidos con la aplicación DDBase y se han obtenido discrepancias mínimas, siendo en la 1ª observación la mayor diferencia es 14,77mm. en el valor del incremento de X de la línea base V3V4 aumentando hasta 17,46mm. en la 2ª observación. Éstos se pueden considerar razonables debido a la diferencia de correcciones que aplica DDBase y los parámetros que utiliza cuando procesa los datos procedentes de la observación, respecto a otros software como el TTC.

Se muestra a continuación un cuadro con estas discrepancias en ambas campañas de observación:

1ª observación

V1V2		V1V3		V1V4		V2V3		V2V4		V3V4	
TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase
X		X		X		X		X		X	
5,7604	-5,7600	33,2214	33,2193	40,1490	40,1493	38,9838	38,9722	45,9106	45,9077	6,9191	6,9339
Y		Y		Y		Y		Y		Y	
63,5467	63,5463	89,7361	89,7340	22,0752	22,0747	26,1913	26,1943	41,4712	-41,4711	67,6604	-67,6595
vector		vector		vector		vector		vector		vector	
64,2154	64,2148	103,5940	103,5906	66,5936	66,5935	66,3853	66,3787	83,1477	83,1478	68,5596	68,5598
V1V2		V1V3		V1V4		V2V3		V2V4		V3V4	
X		X		X		X		X		X	
0,42 mm		2,14 mm		-0,28 mm		11,59 mm		2,89 mm		-14,77 mm	
Y		Y		Y		Y		Y		Y	
0,44 mm		2,1 mm		0,5 mm		-3,01 mm		0,1 mm		0,87 mm	
vector		vector		vector		vector		vector		vector	
0,619 mm		3,420 mm		0,105 mm		6,645 mm		0,072 mm		0,242 mm	

2ª observación

V1V2		V1V3		V1V4		V2V3		V2V4		V3V4	
TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase	TTC	DDBase
X		X		X		X		X		X	
5,5770	-5,5846	33,2317	33,2317	40,1477	40,1483	38,8057	-38,8104	45,7227	-45,7283	6,9099	-6,9274
Y		Y		Y		Y		Y		Y	
63,5517	63,5481	89,7346	89,7224	22,0762	22,0752	26,1769	-26,1718	41,4751	41,4728	67,6544	67,6500
vector		vector		vector		vector		vector		vector	
64,2214	64,2178	103,5893	103,5766	66,5933	66,5926	66,3696	66,3635	83,1503	83,1511	68,5552	68,5513
V1V2		V1V3		V1V4		V2V3		V2V4		V3V4	
X		X		X		X		X		X	
-7,62	mm	0,01	mm	-0,59	mm	-4,68	mm	-5,56	mm	-17,46	mm
Y		Y		Y		Y		Y		Y	
3,64	mm	12,21	mm	1	mm	5,16	mm	2,29	mm	4,34	mm
vector		vector		vector		vector		vector		vector	
3,611	mm	12,724	mm	0,683	mm	6,098	mm	0,796	mm	3,901	mm

Una vez contrastada la aplicación DDBase, se decide procesar la observación realizada de la red local con dicho software, ya que se han obtenido buenos resultados y, como se ha comentado en los preliminares de GPS⁵⁹ y en los principios de funcionamiento de esta aplicación, una gran parte del diseño de esta aplicación implica la edición de dobles diferencias e investigación sobre el efecto multipath de gran influencia en líneas bases cortas.

A efectos del posterior ajuste gaussiano de la red y su ponderación previa según los observables propios de la misma⁶⁰, se necesita dividir dicha observación en diferentes intervalos de tiempo con la finalidad de obtener la varianza muestral de los incrementos de coordenadas geocéntricas de las líneas base de todos los vértices de la red en estudio. Así como para poder comprobar la normalidad de los observables.

⁵⁹ Cfr. epígrafes 2.2. Preliminares de GPS y 2.3. Principios de funcionamiento de DDBase

⁶⁰ Este tipo de ponderación se explica en el epígrafe 4.5.4.2.

Para este fin se dividen las dos campañas de observación en los siguientes intervalos:

1ª observación 24-11-2010		2ª observación 27-4-2011	
T1	9:07:15h a 9:42:15h	T1	9:50:00h a 10:15:00h
T2	9:27:15h a 10:02:15h	T2	10:15:00h a 10:40:00h
T3	9:47:15h a 10:22:15h	T3	10:40:00h a 11:05:00h
T4	10:00:15h a 10:40:15h	T4	11:05:00h a 11:30:00h
T5	10:20:15h a 10:55:15h	T5	11:30:00h a 11:55:00h
T6	10:40:15h a 11:07:30h	T6	11:55:00h a 12:20:00h
		T7	12:20:00h a 12:45:00h
		T8	12:45:00h a 13:10:00h
		T9	13:10:00h a 13:34:00h

El número de intervalos considerados en ambas campañas depende exclusivamente del tiempo de duración de la observación y del intervalo en el registro de datos, condicionado por la cantidad de registros de fase que necesita la aplicación DDBase para resolver el posicionamiento y fijar ambigüedades, por ello en la 2ª observación se pueden definir más intervalos que en la 1ª observación.

Por tanto, se vuelven a definir los ficheros ejecutables correspondientes a cada línea base introduciendo los comandos que delimitan el tiempo de procesado respecto al tiempo de observación total.

```
--BeginTime <aaaa,mm,dd,hh,mm,sgsg>
```

```
--EndTime <aaaa,mm,dd,hh,mm,sgsg>
```

4.3.1. OBTENCIÓN DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS DE LA RED LOCAL.

También se añaden los comandos referentes a las opciones de los ficheros de salida para obtener el valor de las dobles diferencias, tanto observadas como editadas:

```
--RDDFileOut <nombre fichero salida>
```

```
--DDDFileOut <nombre fichero salida>
```

y el comando que permite el cálculo de los residuos de dobles diferencias:

--DDRFileOut <nombre fichero salida>

Los últimos ficheros ejecutados para tal fin, presentan el aspecto siguiente:

- 1ª observación

• Línea base V1V2 (fichero baseV1V2.txt). Intervalo T1

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS1	Camino o ubicación del fichero de observaciones.
--ObsFile Vert13280.10o,VERT1	Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--ObsFile Vert23280.10o,VERT2	
--NavPath /home/nieves/GNSS1	Directorio donde se encuentra el fichero de efemérides.
--NavFile igs16112.sp3	Nombre de los ficheros que contienen las efemérides. Es recomendable utilizar también el día anterior y el día posterior a la observación. Se han utilizado efemérides precisas del Internacional GNSS Service (IGS).
--NavFile igs16113.sp3	
--NavFile igs16114.sp3	
--EOPPath /home/nieves/GNSS1	Ubicación del fichero EOPFile.
--EOPFile EOPP0328.TXT	Nombre del fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo. Estos parámetros utilizados pertenecen a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA).
--EOPFile EOPP0327.TXT	
--PosXYZ 4929596.1917,- 29122.8518,4033599.0829,VERT1	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija.
--PosXYZ 4929602.4378,- 29186.6037,4033591.6848,VERT2	
--Fix VERT1	VERT1 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
--Freq L1	Se procesarán los datos de observación con la frecuencia L1.
--FixBiases	Esta opción indica a DDBase que obligue a que los valores de la ambigüedad sean enteros en la última iteración de la estimación. Fijar ambigüedades
--BeginTime 2010,11,24,09,07,15.0000	Define el comienzo y el fin del intervalo del fichero de observación que interviene en el procesado.
--EndTime 2010,11,24,09,42,15.0000	
--DT 15	El intervalo del tiempo de observación son 15 segundos.
--BaseOut VERT1-VERT2	Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones VERT1 y VERT2.
--RDDFileOut V1-V2R	Se muestran las dobles diferencias observadas y editadas que se han utilizado en el procesamiento de la línea base.
--DDDFileOut V1-V2D	
--DDRFileOut V1-V2Residuos	Se calculan los valores residuales obtenidos después de fijar ambigüedades.
--Log V1V2.log	Nombre del fichero de resultados e información.
--verbose	Fichero de salida que incluye información más completa que la opción por defecto.

Aunque se han procesado todas las líneas base para los 6 intervalos de esta 1ª observación, solamente se expone, a modo de ejemplo, la línea base V1V2 cuyo tiempo de procesamiento corresponde al intervalo definido como T1.

La siguiente línea de comando es la que se deberá modificar en cada fichero de todas las líneas bases para procesar los distintos intervalos de la 1ª observación:

--BeginTime 2010,11,24,09,27,15.0000 --EndTime 2010,11,24,10,02,15.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T2 de observación.
--BeginTime 2010,11,24,09,47,15.0000 --EndTime 2010,11,24,10,22,15.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T3 de observación.
--BeginTime 2010,11,24,10,00,15.0000 --EndTime 2010,11,24,10,40,15.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T4 de observación.
--BeginTime 2010,11,24,10,20,15.0000 --EndTime 2010,11,24,10,55,15.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T5 de observación.
--BeginTime 2010,11,24,10,40,15.0000 --EndTime 2010,11,24,11,07,30.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T6 de observación.

- 2ª observación

- Línea base V1V2 (fichero baseV1V2.txt). Intervalo T1

Comando	Descripción
--ObsPath /home/nieves/GNSS2 --ObsFile v1.11o,V1 --ObsFile v2.11o,V2	Camino o ubicación del fichero de observaciones. Nombres de los ficheros de observación y las etiquetas de las estaciones. Se repite tantas veces como ficheros de observación se van a utilizar.
--NavPath /home/nieves/GNSS2 --NavFile igs16332.sp3 --NavFile igs16333.sp3 --NavFile igs16334.sp3	Directorio donde se encuentra el fichero de efemérides. Nombre de los ficheros que contienen las efemérides. Es recomendable utilizar también el día anterior y el día posterior a la observación. Se han utilizado efemérides precisas del Internacional GNSS Service (IGS).
--EOPPath /home/nieves/GNSS2 --EOPFile EOPP1117.TXT --EOPFile EOPP1118.TXT	Ubicación del fichero EOPFile. Nombre del fichero que contiene los parámetros de orientación y rotación del polo. Estos parámetros utilizados pertenecen a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA).
--PosXYZ 4929597.9212,-29123.4093,4033600.1588,V1 --PosXYZ 4929601.7554,-29186.8878,4033590.8877,V2 --Fix V1	Coordenadas cartesianas geocéntricas del punto de referencia de la antena ARP de la estación fija. V1 será la estación que va a permanecer “fija” en todo el procesamiento.
--Freq L1 --FixBiases	Se procesarán los datos de observación con la frecuencia L1. Esta opción indica a DDBase que obligue a que los valores de la ambigüedad sean enteros en la última iteración de la estimación. Fijar ambigüedades
--BeginTime 2011,04,27,09,50,0.0000 --EndTime 2011,04,27,10,15,0.0000 --DT 3 --BaseOut V1-V2	Define el comienzo y el fin del intervalo del fichero de observación que interviene en el procesado. El intervalo del tiempo de observación son 3 segundos. Se calcularán las líneas base de salida entre las estaciones V1 y V2.

--RDDFileOut V1-V2R	Se muestran las dobles diferencias observadas y editadas que se han utilizado en el procesamiento de la línea base.
--DDDFileOut V1-V2D	
--DDRFileOut V1-V2Residuos	Se calculan los valores residuales obtenidos después de fijar ambigüedades.
--Log V1V2.log	Nombre del fichero de resultados e información.
--verbose	Fichero de salida que incluye información más completa que la opción por defecto.

De la misma manera para la 2ª observación se considera, a modo de ejemplo, la línea base V1V2 cuyo tiempo de procesamiento corresponde al intervalo definido como T1.

La siguiente línea de comando es la que se deberá modificar en cada fichero de todas las líneas bases para procesar los distintos intervalos de la 2ª observación:

--BeginTime 2011,04,27,10,15,0.0000 --EndTime 2011,04,27,10,40,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T2 de observación.
--BeginTime 2011,04,27,10,40,0.0000 --EndTime 2011,04,27,11,05,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T3 de observación.
--BeginTime 2011,04,27,11,05,0.0000 --EndTime 2011,04,27,11,30,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T4 de observación.
--BeginTime 2011,04,27,11,30,0.0000 --EndTime 2011,04,27,11,55,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T5 de observación.
--BeginTime 2011,04,27,11,55,0.0000 --EndTime 2011,04,27,12,20,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T6 de observación.
--BeginTime 2011,04,27,12,20,0.0000 --EndTime 2011,04,27,12,45,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T7 de observación.
--BeginTime 2011,04,27,12,45,0.0000 --EndTime 2011,04,27,13,10,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T8 de observación.
--BeginTime 2011,04,27,13,10,0.0000 --EndTime 2011,04,27,13,34,0.0000	Define el comienzo y el fin que se procesará del intervalo T9 de observación.

Al realizarse la ejecución de estos ficheros, se obtienen los residuos de las dobles diferencias que intervienen en el cálculo de las líneas base y los ficheros propios de resultados e información de cada línea procesada.

Se pretende analizar los resultados obtenidos mediante la elaboración de unas gráficas de dichos residuos, mediante la aplicación **gnuplot**⁶¹.

Previamente, como en el epígrafe anterior dedicado al procesamiento de la red ERVA, se necesitan crear unos archivos ***.org** dónde se extraer los residuos correspondientes ordenados según la parejas de satélites que intervienen en el cálculo de las dobles diferencias, consultando para ello los ficheros de información y resultados ***.log**⁶², en el cuál encontramos el resumen de dobles diferencias con las parejas de satélites utilizadas y el número de dobles diferencias procesadas. Dichos resúmenes se han analizado para todas las observaciones y en todos los intervalos que se han considerados en éstas.

Como ejemplo, se muestran los resúmenes correspondientes al 1^{er} intervalo de ambas observaciones para todas las líneas base de la red local.

- **1ª observación**

• **Intervalo T1 (09:07:15h - 09:42:15h)**

Double differences summary											
V1V2				V1V3				V1V4			
G06	G30	120	21 - 140	G03	G30	56	85 - 140	G03	G30	56	85 - 140
G16	G30	140	1 - 140	G06	G30	141	0 - 140	G06	G30	141	0 - 140
G21	G30	141	0 - 140	G16	G30	141	0 - 140	G16	G30	141	0 - 140
G25	G30	141	0 - 140	G21	G30	141	0 - 140	G21	G30	141	0 - 140
G29	G30	141	0 - 140	G25	G30	141	0 - 140	G25	G30	141	0 - 140
				G29	G30	141	0 - 140	G29	G30	141	0 - 140
				G31	G30	141	0 - 140	G31	G30	141	0 - 140

Double differences summary											
V2V3				V2V4				V3V4			
G06	G30	120	21 - 140	G06	G30	120	21 - 140	G03	G30	56	85 - 140
G16	G30	140	1 - 140	G16	G30	140	1 - 140	G06	G30	141	0 - 140
G21	G30	141	0 - 140	G21	G30	141	0 - 140	G16	G30	141	0 - 140
G25	G30	141	0 - 140	G25	G30	141	0 - 140	G21	G30	141	0 - 140
G29	G30	141	0 - 140	G29	G30	141	0 - 140	G25	G30	141	0 - 140
								G29	G30	141	0 - 140
								G31	G30	141	0 - 140

⁶¹ Cfr. Anexo 4. Manejo de Gnuplot.

⁶² Cfr. Epígrafe 2.4.3. Fichero de información y resultados **.log*

- 2ª observación

• Intervalo T1 (09:50:00h - 10:15:00h)

Double differences summary											
V1V2				V1V3				V1V4			
G02	G04	501	0 - 500	G02	G04	501	0 - 500	G02	G04	501	0 - 500
G05	G04	186	315 - 500	G05	G04	186	315 - 500	G05	G04	186	315 - 500
G07	G04	501	0 - 500	G07	G04	501	0 - 500	G07	G04	501	0 - 500
G10	G04	501	0 - 500	G08	G04	501	0 - 500	G08	G04	469	32 - 500
G13	G04	501	0 - 500	G10	G04	501	0 - 500	G10	G04	501	0 - 500
G20	G04	501	0 - 500	G13	G04	501	0 - 500	G13	G04	501	0 - 500
G23	G04	501	0 - 500	G20	G04	425	0 - 424	G20	G04	361	0 - 360
				G23	G04	501	0 - 500	G23	G04	285	0 - 284

Double differences summary											
V2V3				V2V4				V3V4			
G02	G04	501	0 - 500	G02	G04	501	0 - 500	G02	G04	501	0 - 500
G05	G04	272	229 - 500	G05	G04	272	229 - 500	G05	G04	272	229 - 500
G07	G04	501	0 - 500	G07	G04	501	0 - 500	G07	G04	501	0 - 500
G10	G04	501	0 - 500	G10	G04	501	0 - 500	G08	G04	469	32 - 500
G13	G04	501	0 - 500	G13	G04	501	0 - 500	G10	G04	501	0 - 500
G20	G04	425	0 - 424	G20	G04	361	0 - 360	G13	G04	501	0 - 500
G23	G04	501	0 - 500	G23	G04	285	0 - 284	G20	G04	361	0 - 360
								G23	G04	285	0 - 284

Una vez que conocemos las dobles diferencias que intervienen en el cálculo de cada línea base extraemos del archivo de residuos correspondiente la identificación de cada satélite, el tiempo GPS y los valores de dichos residuos para cada pareja de satélite. De esta manera se genera un archivo de texto con extensión **.org**. Se utilizarán elementos básicos de programación **gawk**⁶³. Se han de escribir para todas las líneas base en estudio de ambas campañas de observación aunque se presentan a continuación, solamente las secuencias⁶⁴ escritas en la línea de comando del terminal utilizadas para la creación de dichos archivos

⁶³ HERNÁNDEZ-PAJARES, M. JUAN ZORNOZA, J.M., SANZ SUBIRANA, J. Grupo de Astronomía y Geomática. Session 1.: Computer tools “GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes”. Centro de Publicaciones del Campus Norte (CPET). UPC.

⁶⁴ - Instrucción **cat**: Volcar el contenido de un archivo.

- Comando **”|”** permite conectar la salida de un proceso con la entrada de otro.

- **Gawk** es una versión evolucionada del **awk**

- **gawk '{print \$4,\$5,\$7,\$11}'>G6G30.org**: Generar (Imprimir) el fichero G6G30 con los campos cuarto, quinto, séptimo y undécimo del fichero V1-V2Residuos.

- **cat V1-V2Residuos | gawk '{if (\$4=="G06" && \$5=="G30") print \$4,\$5,\$7,\$11}' >G6G30.org**: Generar (Imprimir) el fichero G6G30, con los campos cuarto, quinto, séptimo y undécimo del fichero V1-V2Residuos, seleccionando solamente los datos de los satélites G06 y G30.

- Instrucción **man gawk**: acceso a las páginas del manual del **gawk**.

con los residuos de dobles diferencias del 1^{er} intervalo T1 de la observación 1 y 2, para las líneas base V1V2, V2V3 y V2V4.

- **1ª observación. Intervalo T1.**

```
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G06" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G6G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G16" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G16G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G21" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G21G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G25" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G25G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G29" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G29G30.org
```

```
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V1V2$ cd
nieves@nieves-desktop:~$ cd GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V3
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G06" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G6G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G16" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G16G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G21" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G21G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G25" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G25G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G29" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G29G30.org
```

```
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V3$ cd
nieves@nieves-desktop:~$ cd GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V4
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G29" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G29G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G25" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G25G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G21" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G21G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G16" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G16G30.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS1/Intervalos_L1Fix_RDD/T1_2/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G06" && $5=="G30") print $4,$5,$7,$11}' >G6G30.org
```

- **2ª observación. Intervalo T1.**

```
nieves@nieves-desktop:~$ cd GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G02" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G2G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G05" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G5G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G07" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G7G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G10" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G10G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$
```

```

cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G13" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G13G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G20" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G20G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$
cat V1-V2Residuos | gawk '{if ($4=="G23" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G23G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V1V2$ cd

nieves@nieves-desktop:~$ cd GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G23" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G23G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G20" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G20G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G13" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G13G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G10" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G10G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G07" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G7G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G05" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G5G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$
cat V2-V3Residuos | gawk '{if ($4=="G02" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G2G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V3$ cd

nieves@nieves-desktop:~$ cd GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G02" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G2G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G05" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G5G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G07" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G7G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G10" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G10G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G13" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G13G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G20" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G20G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$
cat V2-V4Residuos | gawk '{if ($4=="G23" && $5=="G04") print $4,$5,$7,$11}' >G23G4.org
nieves@nieves-desktop:~/GNSS2/Intervalos_L1Fix/T1/V2V4$ cd

```

4.3.2. GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE LAS DOBLES DIFERENCIAS DE LAS LÍNEAS BASE DE LA RED LOCAL.

Tal y como se ha hecho en el capítulo 4 con la red ERVA se pretende analizar las gráficas de los residuos de la red local en estudio, para ello mediante la aplicación gnuplot se realiza el dibujo de las gráficas correspondientes con los archivos de dichos residuos que se han obtenido. Para la ejecución⁶⁵ de gnuplot se crea un fichero script que contiene los

⁶⁵ Cfr. Anexo 4. Manejo de gráficas con gnuplot.

comandos necesarios para la realización de las gráficas que queremos obtener. Se han creado ficheros script para las 2 campañas de observación y dentro de dichas campañas para cada uno de los intervalos en los cuales se han dividido, siendo un total de 60 ficheros script, correspondientes los 6 intervalos de la 1ª observación para los 4 vértices y 9 intervalos de la 2ª observación para los 4 vértices.

Como ejemplo se muestran los ficheros *scripts* del 1^{er} intervalo T1 de la observación 1 y 2, según las líneas base V1V2, V2V3 y V2V4.

- **1ª observación. Intervalo T1.**

Línea base V1V2

```
set grid
set xrange[292035:294135]
set title 'Residuos Dobles Diferencias V1V2'
set xtics 292035,125,294135
set ytics 0.005
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos V1V2 (m)'
set key box
plot 'G6G30.org' using 3:4 with lines lt 1 title 'G6G30','G16G30.org' using 3:4 with lines lt 2 title
'G16G30','G21G30.org' using 3:4 with lines lt 3 title 'G21G30','G25G30.org' using 3:4 with lines lt
4 title 'G25G30','G29G30.org' using 3:4 with lines lt 5 title 'G29G30'
set terminal postscript color enhanced
set output 'V1V2.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Línea base V2V3

```
set grid
set xrange[292035:294135]
set title 'Residuos Dobles Diferencias V2V3'
set xtics 292035,125,294135
set ytics 0.01
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos V2V3 (m)'
set key box
plot 'G6G30.org' using 3:4 with lines lt 1 title 'G6G30','G16G30.org' using 3:4 with lines lt 2 title
'G16G30','G21G30.org' using 3:4 with lines lt 3 title 'G21G30','G25G30.org' using 3:4 with lines lt
4 title 'G25G30','G29G30.org' using 3:4 with lines lt 5 title 'G29G30'
set terminal postscript color enhanced
set output 'V2V3.ps'
```



```
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Línea base V2V4

```
set grid
set xrange[292035:294135]
set title 'Residuos Dobles Diferencias V2V4'
set xtics 292035,125,294135
set ytics 0.005
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos V2V4 (m)'
set key box
plot 'G6G30.org' using 3:4 with lines lt 1 title 'G6G30','G16G30.org' using 3:4 with lines lt 2 title
'G16G30','G21G30.org' using 3:4 with lines lt 3 title 'G21G30','G25G30.org' using 3:4 with lines lt
4 title 'G25G30','G29G30.org' using 3:4 with lines lt 5 title 'G29G30'
set terminal postscript color enhanced
set output 'V2V4.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

- **2ª observación. Intervalo T1.**

Línea base V1V2

```
set grid
set xrange[294600:296100]
set title 'Residuos Dobles Diferencias V1V2'
set xtics 294600,125,296100
set ytics 0.005
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos V1V2 (m)'
set key box
plot 'G2G4.org' using 3:4 with lines lt 1 title 'G2G4','G5G4.org' using 3:4 with lines lt 2 title
'G5G4','G7G4.org' using 3:4 with lines lt 3 title 'G7G4','G10G4.org' using 3:4 with lines lt 4 title
'G10G4','G13G4.org' using 3:4 with lines lt 5 title 'G13G4','G20G4.org' using 3:4 with lines lt 6 title
'G20G4','G23G4.org' using 3:4 with lines lt 7 title 'G23G4'
set terminal postscript color enhanced
set output 'V1V2.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Línea base V2V3

```
set grid
set xrange[294600:296100]
set title 'Residuos Dobles Diferencias V2V3'
```

```
set xtics 294600,125,296100
set ytics 0.01
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos V2V3 (m)'
set key box
plot 'G2G4.org' using 3:4 with lines lt 1 title 'G2G4','G5G4.org' using 3:4 with lines lt 2 title
'G5G4','G7G4.org' using 3:4 with lines lt 3 title 'G7G4','G10G4.org' using 3:4 with lines lt 4 title
'G10G4','G13G4.org' using 3:4 with lines lt 5 title 'G13G4','G20G4.org' using 3:4 with lines lt 6 title
'G20G4','G23G4.org' using 3:4 with lines lt 7 title 'G23G4'
set terminal postscript color enhanced
set output 'V2V3.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Línea base V2V4

```
set grid
set xrange[294600:296100]
set title 'Residuos Dobles Diferencias V2V4'
set xtics 294600,125,296100
set ytics 0.005
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'Residuos V2V4 (m)'
set key box
plot 'G2G4.org' using 3:4 with lines lt 1 title 'G2G4','G5G4.org' using 3:4 with lines lt 2 title
'G5G4','G7G4.org' using 3:4 with lines lt 3 title 'G7G4','G10G4.org' using 3:4 with lines lt 4 title
'G10G4','G13G4.org' using 3:4 with lines lt 5 title 'G13G4','G20G4.org' using 3:4 with lines lt 6 title
'G20G4','G23G4.org' using 3:4 with lines lt 7 title 'G23G4'
set terminal postscript color enhanced
set output 'V2V4.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

4.3.3. OBTENCIÓN DE LOS SALTOS DE CICLO DE LOS VÉRTICES DE LA RED LOCAL.

Debido a la apariencia de algunas de las gráficas de los residuos de las dobles diferencias procesadas que se han obtenido, especialmente en la 2ª observación en las líneas base que interviene el vértice 3, se decide estudiar si existen algunas interrupciones ó pérdidas de la señal enviada por el satélite.

Por ello se analizaron las posibles pérdidas de ciclo mediante la combinación de fase Melbourne-Wübbena aún siendo consciente de que la detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. Y además sabiendo que la detección se lleva a cabo en DDBase⁶⁶ según un algoritmo de corrección basado en los trabajos de Blewitt, utilizando un programa denominado *DiscFix*. Esto produce que en el procesamiento con la aplicación DDBase, se desestimen muchas dobles diferencias de fase por falta de señal ó pérdidas de ciclo que no pueden ser reparadas.

Por todo ello y añadiendo que es conocido que las pérdidas de ciclo suponen un salto en el registro de las medidas de fase producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite, se procedió a dicho análisis mediante la combinación de fase de Melbourne-Wübbena y al posterior estudio de las gráficas de este algoritmo.

Se debe recordar que los satélites GPS emiten señales en dos frecuencias distintas en banda L (L1= 1575.42 Mhz y L2= 1227.6 Mhz), que son múltiplos de una frecuencia fundamental de 10.23 Mhz. Sobre estas portadoras se modulan los códigos C/A-code y P-code y el mensaje de navegación.

La distancia aparente entre el satélite y el receptor también pueden medirse a partir de la fase de la portadora, que son los observables que en este trabajo se están considerando, resultante de la comparación de la fase de la señal recibida en el receptor y la generada por el oscilador de dicho receptor.

El modelo simplificado para la fase observada por el receptor R del satélite S en el instante t viene dado por:

$$\phi_R^S(t) = \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_R^S(t) + f^S \cdot [dt^S(t) - dT_i(t)] + N_R^S + \frac{1}{\lambda} \cdot [d_{trop}(t) - d_{ion}(t)]$$

⁶⁶ Cfr. Epígrafe 1.2.3.2. Pérdidas de ciclo de este documento.

donde ϕ es la fase total en el instante de la adquisición de la señal

ρ es la distancia geométrica satélite-receptor

$dt(t)$ y $dT(t)$ son las desviaciones de los osciladores del satélite y del receptor, con respecto al tiempo GPS, en el instante t

N es la ambigüedad en el instante de recepción de la señal

d_{ion} y d_{trop} son los efectos ionosférico y troposférico

Este modelo expresado en función de los términos que intervienen en el modelado de los observables de fase L para las dos frecuencias f_1 y f_2 , sería:

$$L_R^S = \rho_R^S + c \cdot (dt_R - dt^S) + rel_R^S + T_R^S - \alpha_1 \cdot I_R^S + B_R^S + \omega_L + M_{L,R}^S + \varepsilon_{L,R}^S$$

donde hay que tener en cuenta:

ρ_R^S es la distancia geométrica satélite-receptor

dt_R y dt^S son las desviaciones de los osciladores del satélite y del receptor, con respecto al tiempo GPS

rel_R^S representa el efecto relativista

I_R^S representa el retardo ionosférico, que depende de la frecuencia f de la señal ($\alpha_i = 40.3/f_i^2$)

T_R^S representa el retardo troposférico

B_R^S es un término de ambigüedad de fase, debido a que cuando se adquiere la señal se tiene una ambigüedad en un número entero de longitudes de onda N_R^S , a la hay que sumar las constantes instrumentales k^S , k_R de los satélites y receptor, respectivamente ($B_R^S = k^S + k_R + N_R^S$).

ω_L es un término debido a la polarización de la señal (wind-up)⁶⁷.

$\varepsilon_{L,R}^S$ término de ruido que contiene todos los efectos no modelados

La posibilidad de adquisición de dos frecuencias permite que en un instante se disponga de dos ecuaciones de observación correspondientes a la fase de cada una de las portadoras. Estas ecuaciones pueden combinarse dando lugar a nuevas frecuencias definidas a partir de estas combinaciones lineales.

Debido a que la combinación wide-lane $L\delta$ proporciona un observable con una longitud de onda de gran extensión $\lambda\delta = 86,2$ cm (unas cuatro veces superior a la de L1 o L2) lo que la hace muy útil para la detección de saltos de ciclo en la fase.

En concreto para detectar los saltos de ciclos se ha utilizado la combinación de *Melbourne-Wübbena* ($W = L\delta - P\delta$):

$$P\delta = \frac{f_1 P1 + f_2 P2}{f_1 + f_2} \quad L\delta = \frac{f_1 L1 - f_2 L2}{f_1 - f_2}$$

Para ello, en cada vértice de la red y en ambas campañas, mediante elementos básicos de programación gawk, como en casos anteriores, se ha procedido de la siguiente manera⁶⁸:

- A partir de los ficheros Rinex de la 1ª observación, Vert13280.10o, Vert23280.10o, Vert33280.10o y Vert43280.10o y los ficheros Rinex de la 2ª observación, v1.11o, v2.11o, v3.11o y v4.11o utilizando el *programa rnx2txt*⁶⁹ se generan unos ficheros más adecuados para el cálculo y tratamiento de los datos con éstos dispuestos en

⁶⁷ Un giro de 360 grados en la antena del receptor, manteniendo su posición fija, introducirá una variación de una longitud de onda en la medida de distancia aparente entre el receptor y el satélite obtenida a partir de la fase.

⁶⁸ HERNÁNDEZ-PAJARES, M. JUAN ZORNOZA, J.M., SANZ SUBIRANA, J. Grupo de Astronomía y Geomática. Session 1: Computer tools “GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes”. Centro de Publicaciones del Campus Norte (CPET). UPC.

⁶⁹ HERNÁNDEZ-PAJARES, M. JUAN ZORNOZA, J.M., SANZ SUBIRANA, J. Grupo de Astronomía y Geomática. Session 3b: Cycle-slip detection “GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes”. Centro de Publicaciones del Campus Norte (CPET). UPC.

columnas. Concretamente son 8 campos: estación, día GPS, segundos del día, satélite, L1 en metros, L2 en metros, C1 en metros, P2 en metros y arco.

- Ejecutar para la 1ª observación:

```
rnx2txt Vert13280.10o
ls
textedit Vert13280.a
rnx2txt Vert23280.10o
ls
textedit Vert23280.a
rnx2txt Vert33280.10o
ls
textedit Vert33280.a
rnx2txt Vert43280.10o
ls
textedit Vert43280.a
```

- Ejecutar para la 2ª observación:

```
rnx2txt v1.11o
ls
textedit v1.a
rnx2txt v2.11o
ls
textedit v2.a
rnx2txt v3.11o
ls
textedit v3.a
rnx2txt v4.11o
ls
textedit v4.a
```

Se obtienen los ficheros que se han denominado para la 1ª observación Vert13280.a, Vert23280.a, Vert33280.a y Vert43280.a y para la 2ª observación v1.a, v2.a, v3.a y v4.a

- A continuación se han de seleccionar de estos ficheros los campos correspondientes a: segundos del día, L1, L2, C1 y P2 para cada satélite que se ha registrado desde cada vértice de la red en ambas campañas de observación.

Ejecutando⁷⁰ desde la línea de comando para la 1ª observación y el vértice 1:

⁷⁰ - Instrucción **cat**: Volcar el contenido de un archivo.

- Comando **”|”** permite conectar la salida de un proceso con la entrada de otro.

- **Gawk** es una versión evolucionada del awk

```

cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==03) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s03.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==06) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s06.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==16) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s16.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==18) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s18.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==19) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s19.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==21) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s21.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==22) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s22.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==25) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s25.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==29) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s29.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==30) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s30.org
cat Vert13280.a | gawk ' {if ($4==31) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s31.org

```

Ejecutando desde la línea de comando para la 2ª observación y el vértice 1:

```

cat V1.a | gawk ' {if ($4==02) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s2.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==04) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s4.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==05) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s5.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==07) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s7.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==08) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s8.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==10) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s10.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==13) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s13.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==15) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s15.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==20) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s20.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==23) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s23.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==26) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s26.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==27) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s27.org
cat V1.a | gawk ' {if ($4==28) print $3,$5,$6,$7,$8}' >s28.org

```

Se ha presentado a modo de ejemplo los comandos ejecutados para el vértice 1, pero se han de ejecutar estos comandos para todos demás los vértices y ambas campañas de observación.

- Se estudiarán los saltos de ciclo aplicando la combinación de *Melbourne-Wübbena* mencionada con anterioridad, mediante la ejecución en la línea de comandos de la siguiente expresión⁷¹ para la 1ª observación correspondiente al vértice 1:

- **gawk '{print \$3,\$5,\$6,\$7,\$8}'>s03.org:** Generar (Imprimir) el fichero s03 con los campos tercero, quinto, sexto, séptimo y octavo del fichero Vert13280.a.

- **cat Vert13280.a | gawk ' {if (\$4==03) print \$3,\$5,\$6,\$7,\$8}' >s03.org:** Generar (Imprimir) el fichero s03 con los campos tercero, quinto, sexto, séptimo y octavo del fichero Vert13280.a, seleccionando solamente los datos del satélite G03.

- Instrucción **man gawk:** acceso a las páginas del manual del gawk.

⁷¹ **cat s03.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print \$1,((f1*\$2-f2*\$3)/(f1-f2)-(f1*\$4+f2*\$5)/(f1+f2)) /0.862}' >lws03.org:** Se definen las variables f1 y f2 con los valores correspondientes a las frecuencias de las ondas portadoras L1 y L2, y posteriormente se genera (Imprime) el fichero lws03, con el

```

cat s03.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws03.org
cat s06.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws06.org
cat s16.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws16.org
cat s18.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws18.org
cat s19.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws19.org
cat s21.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws21.org
cat s22.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws22.org
cat s25.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws25.org
cat s29.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws29.org
cat s30.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws30.org
cat s31.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws31.org

```

Se ejecutará para la 2ª observación correspondiente al vértice 1:

```

cat s2.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws2.org
cat s4.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws4.org
cat s5.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws5.org
cat s7.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws7.org
cat s8.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws8.org
cat s10.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws10.org
cat s13.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws13.org
cat s15.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws15.org
cat s20.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws20.org
cat s23.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws23.org
cat s26.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws26.org
cat s27.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws27.org
cat s28.org | gawk 'BEGIN{f1=1575.42;f2=1227.6}{print $1,((f1*$2-f2*$3)/(f1-f2)-(f1*$4+f2*$5)/(f1+f2))/0.862}' >lws28.org

```

primer campo del fichero s03 que corresponde con los segundos del día y el segundo campo es la aplicación de la fórmula de *Melbourne-Wübbena* expresada en ciclos ya que $\lambda=0.862\text{m}$.

Se ha presentado a modo de ejemplo los comandos ejecutados para el vértice 1, pero se han de ejecutar estos comandos para todos demás los vértices y ambas campañas de observación.

4.3.4. GRÁFICAS DE LOS SALTOS DE CICLO DE LOS VÉRTICES DE LA RED LOCAL.

Como en los casos anteriores se utilizará la aplicación gnuplot para realizar el dibujo de las gráficas correspondientes con los archivos que se han obtenido. Para la ejecución⁷² de gnuplot se crea un fichero script que contiene los comandos necesarios para la realización de las gráficas que queremos obtener. En este caso, se realizan las gráficas correspondientes a los saltos de ciclo que se han detectado en cada uno de los vértices de la red local. A modo de ejemplo se presentan a continuación algunos de los ficheros script ejecutados para el vértice 3, así como las gráficas correspondientes.

- **Vértice 3. 1ª observación.**

Satélite G3

```
set grid
set xrange[32340:39690]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 32340,500,39690
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws03.org' with points lt 3 title 'Satelite 03'
set terminal postscript color enhanced
set output 's03.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G6

⁷² Cfr. Anexo 4. Manejo de gráficas con gnuplot.

```
set grid
set xrange[32340:39690]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 32340,500,39690
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws06.org' with points lt 3 title 'Satelite 06'
set terminal postscript color enhanced
set output 's06.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G16

```
set grid
set xrange[32340:39690]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 32340,500,39690
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws16.org' with points lt 3 title 'Satelite 16'
set terminal postscript color enhanced
set output 's16.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G18

```
set grid
set xrange[32340:39690]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 32340,500,39690
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws18.org' with points lt 3 title 'Satelite 18'
set terminal postscript color enhanced
set output 's18.ps'
```

```
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G19

```
set grid
set xrange[32340:39690]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 32340,500,39690
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws19.org' with points lt 3 title 'Satelite 19'
set terminal postscript color enhanced
set output 's19.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

- **Vértice 3. 2ª observación.**

Satélite G2

```
set grid
set xrange[35208:49023]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 35208,500,49023
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2.5,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws2.org' with points lt 3 title 'Satelite 02'
set terminal postscript color enhanced
set output 's2.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G4

```
set grid
set xrange[35208:49023]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
```

```
set xtics 35208,500,49023
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2.5,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws4.org' with points lt 3 title 'Satelite 04'
set terminal postscript color enhanced
set output 's4.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G5

```
set grid
set xrange[35208:49023]
set yrange[2.74e+07:2.95e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 35208,500,49023
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2.5,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws5.org' with points lt 3 title 'Satelite 05'
set terminal postscript color enhanced
set output 's5.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G7

```
set grid
set xrange[35208:49023]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 35208,500,49023
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2.5,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws7.org' with points lt 3 title 'Satelite 07'
set terminal postscript color enhanced
set output 's7.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

Satélite G8

```
set grid
set xrange[35208:49023]
set yrange[2.70e+07:2.85e+07]
set title 'Deteccion cycle slip con LW-PW'
set xtics 35208,500,49023
set ytics 0.02e+07
set mxtics 1
set size 2.5,1
set xlabel 'Segundos GPS'
set ylabel 'LW-PW (ciclos)'
set key box
plot 'lws8.org' with points lt 3 title 'Satelite 08'
set terminal postscript color enhanced
set output 's8.ps'
replot
reset
set terminal x11
exit
```

4.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.4.1. ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS.

Se pretende analizar y justificar, mediante los residuos de dobles diferencias, por qué para la obtención de los incrementos de coordenadas GNSS de la red local ha sido necesario prescindir de algún intervalo de observación en ambas campañas. Ésto también se analiza al estudiar la normalidad de los valores en un epígrafe posterior.

Se quiere hacer notar que, dada la configuración de la red local formada por un cuadrilátero cuyo eje Y, es prácticamente coincidente con la dirección que une los vértices V4V1, y el eje X con la dirección que une los vértices V4V3, los errores de posicionamiento, dependiendo de la línea base en estudio, influyen de manera muy distinta en ΔX e ΔY .

A continuación se comentan las gráficas elaboradas mediante los residuos obtenidos de la diferenciación de observables según cada línea base procesada en ambas campañas de observación. Destacar que el análisis y estudio exhaustivo de la red se realiza exclusivamente con las líneas base V1V2, V2V3 y V2V4 ya que el vértice libre de la red local es el vértice V2, las demás líneas base son entre vértices fijos de la red y

consecuentemente no aportan información al resultado y ajuste del vértice libre de la red en estudio. Y a partir de ahora, así se hará.

- **Línea base V1V2. 1ª observación. (24/11/2010 09:07:15h-11:07:15h)**

En general, en esta línea base se han obtenido buenos resultados al procesar las dobles diferencias, en la casi la totalidad de los intervalos en los que se ha dividido la observación la mayoría de los residuos oscilan dentro de un rango de valores de [-0,5cm., 0,5cm.], excepto en el intervalo de T6, entre 10:40:15h y 11:07:15h cuyos valores crecen para situarse en un rango entre [-1cm., 1cm.] y llegando a alcanzar unos valores máximos entre [-2cm., 4,5cm.]. En el intervalo de T2, entre 10:40:15h y 11:07:15h, aunque los valores residuales son similares a los demás intervalos existen unos máximos de -5,5 cm para las dobles diferencias calculadas con los satélites G18G21.

Por ello, se ha considerado oportuno rechazar dichos intervalos en el cálculo de los incrementos (concretamente ΔX) de la línea base V1V2, ya que distorsionan en gran medida el valor de la varianza de los observables y para poder garantizar la normalidad de dichas observaciones.

El posicionamiento final del vector, respecto a la distancia calculada según metodología clásica, se ha conseguido con 0,9mm al procesar la observación dividida en intervalos. Se muestra a continuación un cuadro con dichas discrepancias.

Línea base V1V2		
Distancia s/clásica	DDBase	Discrepancias
64,2143 m.	Procesamiento observación total	
	64,2141 m.	0,2 mm.
	Procesamiento observación intervalos	
	64,2152 m.	-0,9 mm.

- **Línea base V2V3. 1ª observación. (24/11/2010 09:07:15h-11:07:15h)**

Con esta línea base tenemos las mayores discrepancias en el procesamiento de las observaciones, ya que en el vértice 3 existen más problemas con la medida de fase que se registra desde los satélites que son observados. Ésto se amplía en el siguiente epígrafe.

En cuanto a las gráficas de los residuos de las dobles diferencias procesadas, éstas presentan gráficas planas situadas en el entorno de un valor residual destacablemente alto para los intervalos T2 [-8cm., 9cm.] y T4 [-8cm., 14,5cm.]. Ello implica una distorsión considerable de la desviación típica y valor medio, por la propia configuración de la red local, en el valor ΔY con lo que se decide prescindir de estos intervalos. El intervalo T1 presenta también una gráfica plana pero se sitúa en entorno a valores residuales más pequeños.

Este tipo de gráfica plana de residuos de dobles diferencias en torno a un valor residual constante se debe a un sistematismo que se produce por cada pareja de satélites, haciendo sospechar que se debe a un efecto multipath⁷³, pues ya que se trata de un efecto geométrico su efecto se repite al repetirse la geometría pareja de satélites-receptor.

El resto de las gráficas de los residuos de las dobles diferencias procesadas correspondientes a los demás intervalos presentan un aspecto fluctuante en un rango de valores entre [-2cm., 2cm.], mejorando para el intervalo T6 ya que oscilan en un entorno de [-1cm., 1cm.]. En general también se presentan valores máximos para algunos intervalos de hasta 9cm.

El posicionamiento final del vector V2V3, respecto a la distancia calculada según metodología clásica, se ha conseguido con 9,9mm al procesar la observación dividida en intervalos. Se muestra a continuación un cuadro con dichas discrepancias.

⁷³ HERNÁNDEZ-PAJARES, M. JUAN ZORNOZA, J.M., SANZ SUBIRANA, J. Grupo de Astronomía y Geomática. Session 3a: GPS observables and their combinations. "GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes". Centro de Publicaciones del Campus Norte (CPET). UPC.

Línea base V2V3		
Distancias/clásica	DDBase	Discrepancias
66,3912 m.	Procesamiento observación total	
	66,3780 m.	13,2 mm.
	Procesamiento observación intervalos	
	66,3813 m.	9,9 mm.

- **Línea base V2V4. 1ª observación. (24/11/2010 09:07:15h-11:07:15h)**

Las gráficas que se han obtenido con los valores de las dobles diferencias procesadas muestran que la mayoría de los residuos oscilan en un rango de valores entre [-0,5cm., 0,5cm.] para todos los intervalos, excepto el intervalo T2 y T3. En el 2º intervalo la amplitud de estos valores aumenta, pero no significativamente, hasta [-1cm., 0,5cm.] en la primera parte de la gráfica y hasta [-0,5cm., 1cm.] en el final de la misma.

Los valores máximos pueden llegar a alcanzar 9cm. pero en casos muy puntuales, ya que el posicionamiento final del vector de la línea base V2V4 se ha conseguido con 2,3mm, tal y como se muestra en el cuadro a continuación.

El intervalo T3 presenta gráfica cuyos residuos tiene un aspecto plano entorno a valores prácticamente constantes según la pareja de satélites procesada en las dobles diferencias. Por ello, y debido a la configuración de la red local en la línea base V2V4 se presentan errores de posicionamiento muy parecidos para ambos incrementos ΔX e ΔY , decidiendo prescindir de este intervalo para asegurar la normalidad de los datos y evitar distorsionar el resultado final del valor medio y desviación típica muestral.

Línea base V2V4		
Distancia s/clásica	DDBase	Discrepancias
83,1499 m.	Procesamiento observación total	
	83,1465 m.	3,4 mm.
	Procesamiento observación intervalos	
	83,1476 m.	2,3 mm.

- **Línea base V1V2. 2ª observación. (27/04/2011 09:50:00h-13:34:00h)**

Al igual que en la 1ª observación, en esta línea base se han obtenido buenos resultados al procesar las dobles diferencias, en la mayoría de los intervalos en los que se ha dividido la observación la mayoría de los residuos oscilan dentro de un rango de valores de [-0,5cm., 0,5cm.], excepto en el intervalo de T2, T4 y T6. Concretamente en el intervalo T2 las gráficas correspondientes a cada pareja de satélites de las dobles diferencias procesadas son bastante planas, pero se sitúan en unos valores residuales constantes que van aumentando hasta llegar a un valor inadmisibles para los satélites G8G21 de -21cm.

Por ello, se ha considerado oportuno rechazar dichos intervalos en el cálculo de los incrementos de ΔX^{74} de la línea base V1V2, ya que distorsionan en gran medida el valor de la varianza de los observables y para poder garantizar la normalidad de dichas observaciones.

El posicionamiento final del vector, respecto a la distancia calculada según metodología clásica, se ha conseguido con 6,5mm al procesar la observación dividida en intervalos. Se muestra a continuación un cuadro con dichas discrepancias.

⁷⁴ Debido a la configuración de la red local en esta línea base V1V2, casi la totalidad del error en el posicionamiento del vector se proyecta según el eje X.

Línea base V1V2		
Distancia s/clásica	DDBase	Discrepancias
64,2143 m.	Procesamiento observación total	
	64,2171 m.	-2,8 mm.
	Procesamiento observación intervalos	
	64,2208 m.	-6,5 mm.

- **Línea base V2V3. 2ª observación. (27/04/2011 09:50:00h-13:34:00h)**

Las gráficas de los residuos de dobles diferencias procesadas muestran una apariencia plana y con valores residuales constantes entorno a 10cm. Ésto hace sospechar que cada pareja de satélites con la que se han procesado las dobles diferencias produce un sistematismo que bien puede ser un efecto multipath, ya que se trata de un efecto geométrico cuyo efecto se repite al repetirse la geometría pareja de satélites-receptor. El efecto es parecido al que se observa en la 1ª campaña pero más acusado, de ahí que el posicionamiento final se consiga con unas discrepancias mayores, y muy posiblemente debidas a las fechas en las que tuvo lugar la observación, ya que si bien el vértice está en una zona arbolada, éste en el mes de abril está totalmente cubierto por las hojas de los árboles.

Se ha decidido prescindir de los intervalos T4 y T9 para el cálculo de los incrementos de coordenadas, pero como en el caso de otras líneas base y debido a la orientación de la red local el error en el procesamiento del vector V2V3 influye de manera más notable en ΔY , no considerando también los intervalos T1, T5 y T7.

El posicionamiento final del vector V2V3, respecto a la distancia calculada según metodología clásica, se ha conseguido con 27,3mm al procesar la observación dividida en intervalos. El valor es considerablemente alto, ello se debe al problema existente con los registros de medidas de fase de este vértice. Se muestra a continuación un cuadro con dichas discrepancias.

Línea base V2V3		
Distancia s/clásica	DDBase	Discrepancias
66,3912 m.	Procesamiento observación total	
	66,3629 m.	28,3 mm.
	Procesamiento observación intervalos	
	66,3639 m.	27,3 mm.

- **Línea base V2V4. 2ª observación. (27/04/2011 09:50:00h-13:34:00h)**

En general, el posicionamiento final del vector se ha conseguido con un valor más que aceptable, 0,2mm.

En este caso solamente se ha considerado oportuno prescindir de las intervalos T5 y T6 para el cálculo de ambos incrementos, ya que las gráficas de los residuos de dobles diferencias presentan un aspecto plano entorno a un valor residual de 11cm.

Se muestra a continuación un cuadro con las discrepancias.

Línea base V2V4		
Distancia s/clásica	DDBase	Discrepancias
83,1499 m.	Procesamiento observación total	
	83,1498 m.	0,1 mm.
	Procesamiento observación intervalos	
	83,1497 m.	0,2 mm.

4.4.2. ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE LOS SALTOS DE CICLO.

Es conocido que las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por varios motivos, en la red local en estudio la

principal causa de obstrucción de la señal del satélite es debida a la presencia de árboles y/o edificios.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, se quiere hacer hincapié en que la detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. La detección se lleva a cabo en DDBase⁷⁵ según un algoritmo de corrección basado en los trabajos de Blewitt, utilizando un programa denominado *DiscFix* que procesa los archivos de observación Rinex, escribiendo los datos corregidos en un archivo de salida con formato Rinex.

Aún así, se considera interesante el estudio de cada uno de los vértices que componen la red local:

- **VÉRTICE 1. 1ª observación (24/11/2010 09:03:05h-11:13:15h)**

En esta primera campaña solo se observan saltos de ciclo al final del registro de las medidas de fase del satélite G21, y en general sí se advierten intervalos en los que no se registran datos.

- Satélites G03, G18 y G22 tiene pocos registros, solamente se registra señal de fase desde 10:41:00h a 10:44:30h.
- En cambio los satélites G06, G16, G21, G30 y G31 no registran señal desde 09:28:15h hasta 10:41:00h.
- La situación anterior empeora para los satélites G19, G25 y G29 pues solamente aparecen registros de fase desde el comienzo de la observación 09:03:05h hasta 09:28:15h

⁷⁵ Cfr. Epígrafe 1.2.3.2. Pérdidas de ciclo de este documento.

- **VÉRTICE 1. 2ª observación (27/04/2011 09:46:48h-13:37:03h)**

Durante esta observación existe un intervalo de tiempo en el cual no se obtiene ningún registro de las medidas de fase, esto sucede desde 10:07:18h hasta 10:20:42h, excepto en el satélite G20.

Se advierten saltos de ciclo en el registro de las medidas de fase de los satélites G5, G15 y G20. Concretamente para el satélite G5 dichos saltos son constantes durante casi todo el tiempo de observación, sucediendo al principio de la observación para el satélite G20 y desde las 12:41:48h hasta al final de la observación para el satélite G15.

Destacar:

- Se obtienen abundantes registros en las medidas de fase hasta el final de la observación para los satélites G7, G8 y G10, terminando dichos registros a 12:16:48h para el satélite G4, a 12:26:40h para el satélite G13 y a 13:12:57h para el satélite G2.
- Tanto el satélite G26 y como el satélite G28 registran abundantes medidas de fase, pero solamente desde 11:07:30h y 11:37:57h, respectivamente, hasta el final de la observación.
- Los satélites que menos registro presentan son: G23 con 33 minutos y G27 con 14 minutos.

- **VÉRTICE 2. 1ª observación (24/11/2010 09:07:15h-11:07:30h)**

En este vértice existe un grupo de satélites cuyo registro de medidas de fase es escaso, además de intervalos durante el tiempo de observación que no hay ningún tipo de registro. Éstos son: G3, G18, G22, G25 y G31.

Los satélites G6, G16, G29 y G30, en este vértice, registran un gran número de medidas de fase, excepto de 09:41:30h a 10:05:00h que no hay ningún registro.

Los satélites G19 y G21 son los únicos que en este vértice, presentan saltos de ciclo en el registro de las medidas de fase.

- **VÉRTICE 2. 2ª observación (27/04/2011 09:41:51h-13:34:27h)**

Tal y como ha sucedido en el vértice 1, en este caso los satélites que presentan salto de ciclo en el registro de las medidas de fase son: G5, G15 y G20. Los satélites G5 y G20 presentan dichos saltos durante todo el tiempo que registran datos, aunque en el caso de G20 solamente hasta 10:01:24h. Para el satélite G15 estos saltos en los registros se producen hacia el final de la observación desde 12:40:30h hasta 13:34:27h.

También existe un intervalo de tiempo en el cual no se obtiene ningún registro de las medidas de fase, esto sucede desde 10:01:24h hasta 10:50:00h.

Los satélites que presentan un registro de medidas de fase más abundante durante el mayoría del tiempo de observación son: G7, G8 y G10. Los satélites G2 y G13 aún teniendo buenos registros de medidas de fase, éstos terminan a 11:58:20h y 12:28:20h.

Presentan registros de medidas de fase desde 11:50:00h hasta 13:34:27h los satélites G26 y G28.

Con muy pocos registros G4 y G23 hasta 10:01:24h.

- **VÉRTICE 3. 1ª observación (24/11/2010 08:59:00h-11:14:45h)**

Este vértice presenta muy pocos registro de medidas de fase por parte de la mayoría de los satélites, aunque no se presentan saltos de ciclo en esta campaña de observación. Ello se debe a la ubicación de este vértice en una zona arbolada, que

al ser la observación realizada en el mes de noviembre no da lugar a saltos de ciclo, pero si impide el registro de medidas de fase.

Existe un intervalo en el período de observación desde 09:11:40h hasta 10:33:20h en el cuál los satélites G6, G16, G21, G25, G29, G30 y G31 no registran ninguna medida de fase, incluso G25 y G31 tampoco hacia el final de la observación.

Los satélites G18, G19 y G22 registran medidas de fase solamente y no de manera continua de 18:38:00h hasta 10:47:20h.

Los peores registros los presenta el satélite G3 ya que solamente existen de 10:38:00h hasta 10:39:45h.

- **VÉRTICE 3. 2ª observación (27/04/2011 09:37:00h-13:40:06h)**

En esta segunda observación también este vértice presenta muy pocos registros de medidas de fase, aunque dicha observación se ha efectuado con registros cada 3 segundos para favorecer que pueda existir un mayor número de ellos. Al realizarse al observación en el mes de abril, en plena primavera, la zona arbolada provoca saltos de ciclo en el registro de la medida de fase además de impedir que el receptor registre continuamente medidas de fase.

De esta manera se presentan saltos de ciclo en los satélites: G5, G15 éstos se presentan hacia el final de la observación y G20 que presenta saltos de ciclo al principio de la misma y no presentando más registros a partir de 10:57:54h.

Existe un intervalo en el período de observación desde 09:46:54h hasta 10:23:42h en el cuál desde los satélites G2, G7, G8, G10, G13 y G23 no se registra ninguna medida de fase.

Desde los satélites G26 y G28 comienzan a registrarse datos desde 11:19:30h y 11:41.09h, respectivamente hasta el final del período de observación.

- **VÉRTICE 4. 1ª observación (24/11/2010 08:47:00h-11:10:30h)**

Los satélites G19 y G21 son los únicos que en este vértice, al igual que en el vértice 2, presentan saltos de ciclo en el registro de las medidas de fase durante casi toda la observación desde 09:00:30h hasta 09:35:30h. Después de esta hora, no existen casi registros de las medias de fase en ambos satélites.

Los satélites G6, G16, G30 y G31 presentan unos buenos registros de medidas de fase, perdiendo la continuidad en los registros de la señal desde las 09:36:40h hasta las 10:05:00h.

En cambio, los satélites G25 y G29 solamente registran una señal continua hasta las 09:36:40h, al contrario que los satélites G3 y G18 que presentan registros de medida de fase al final de la observación.

- **VÉRTICE 4. 2ª observación (27/04/2011 09:30:15h-13:45:15h)**

Destacan los satélites G2, G4, G5, G7, G8, G10, G13, G15 y 230 que presentan unos registros de medidas de fase continúa desde las 10:30:00h, aunque existe un intervalo sin señal aproximadamente desde las 11:00:00h hasta las 11:30:00h, concretamente para los satélites G2, G4, G7, G8, G10 y G13.

Solamente presenta saltos de ciclo el satélite G5, y los satélites que no tiene casi ningún registro son G23 y G27.

4.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE INCREMENTOS DE COORDENADAS EN LA RED GNSS DE LADOS CORTOS.

A partir de la observación GNSS de la red local de ejes cortos en estudio, se propone su ajuste según la teoría del método gaussiano determinista por incrementos de coordenadas.

4.5.1. CÁLCULO DE LOS INCREMENTOS DE COORDENADAS A PARTIR DE LOS VECTORES GNSS. TEST DE PEARSON.

En el epígrafe anterior ya se han calculado los vectores GNSS cartesianos geocéntricos y después los correspondientes incrementos de coordenadas entre vértices. A continuación es necesario hacer una conversión de los incrementos cartesianos geocéntricos a nuestro sistema geodésico local. Y para obtener los incrementos de coordenadas topográficas a partir de incrementos de coordenadas cartesianas geocéntricas utilizamos la expresión:

$$\begin{pmatrix} \Delta x_{ij} \\ \Delta y_{ij} \\ \Delta z_{ij} \end{pmatrix} = R^T(\varphi_i, \lambda_i) \cdot \begin{pmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \end{pmatrix}$$

siendo la matriz de rotación ortonormal:

$$R(\varphi_i, \lambda_i) = \begin{pmatrix} -\text{sen } \lambda_i & -\text{sen } \varphi_i \cdot \text{cos } \lambda_i & \text{cos } \varphi_i \cdot \text{cos } \lambda_i \\ \text{cos } \lambda_i & -\text{sen } \varphi_i \cdot \text{sen } \lambda_i & \text{cos } \varphi_i \cdot \text{sen } \lambda_i \\ 0 & \text{cos } \varphi_i & \text{sen } \varphi_i \end{pmatrix}$$

Utilizamos la latitud media y longitud media de los vértices de los vectores cartesianos geocéntricos GNSS: φ_i y λ_i .

Y por último aplicaremos una rotación azimutal a cada pareja de incrementos para hacerlos coincidir con los del levantamiento clásico de la red. No hay una rotación única para todos los ejes.

En cuanto a las varianzas de los incrementos de x e y observados mediante GNSS, recordar que se han calculado según las expresiones siguientes:

$$\sigma_{\Delta X_{MP}}^2 = \frac{\sum (\Delta X_{MPo} - \overline{\Delta X_{MPo}})^2}{n_{MP} - 1} = \text{varianza de } \Delta X_{MPo}$$

$$\sigma_{\Delta Y_{MP}}^2 = \frac{\sum(\Delta Y_{MPo} - \overline{\Delta Y_{MPo}})^2}{n_{MP} - 1} = \text{varianza de } \Delta Y_{MPo}$$

Se muestran en los cuadros siguientes los valores de los incrementos GNSS observados en ambas campañas⁷⁶ en el plano del levantamiento⁷⁷.

1ª observación (1)⁷⁸

	ΔX_{V2-V4}	Δy_{V2-V4}	ΔX_{V2-V3}	Δy_{V2-V3}	ΔX_{V1-V2}	Δy_{V1-V2}
$\mu_{\Delta xy}$	-63.0129951416	-54.2472614378	4.5035399461	-66.2280943317	63.0163963577	-12.3492830387
$\sigma_{\Delta xy}$	2.619362334	2.254983008	4.188427604	6.920604025	1.325200997	0.259698795
$\sigma_{\Delta xy}^2$	6.86106E-06	5.08495E-06	1.75429E-05	4.78948E-05	1.75616E-06	6.74435E-08

2ª observación (2)⁷⁹

	ΔX_{V2-V4}	Δy_{V2-V4}	ΔX_{V2-V3}	Δy_{V2-V3}	ΔX_{V1-V2}	Δy_{V1-V2}
$\mu_{\Delta xy}$	-63.0150510601	-54.2490313577	4.5032552547	-66.210964	63.0225669224	-12.3475097235
$\sigma_{\Delta xy}$	4.806697676	4.138038271	3.996738005	5.554227304	5.288022101	5.149944104
$\sigma_{\Delta xy}^2$	2.31043E-05	1.71234E-05	1.59739E-05	3.08494E-05	2.79632E-05	2.65219E-05

La correcta aplicación del ajuste por mínimos cuadrados requiere como condición previa la distribución normal de cada uno de los observables, que implica así mismo la distribución normal de los residuos. Toda la doctrina se sostiene y desarrolla a partir de la más rigurosa cumplimentación de las expresiones bien conocidas:

$$O = O_{m,1} \sim N(O_{T,m,1}, \Sigma_{0,m,m}) \equiv N(O_T, s^2 Q)$$

$$E(R) = 0$$

$$R \sim N(0, \Sigma_{0,m,m}) \equiv N(0, s^2 Q)$$

⁷⁶ Recordar que se han realizado dos campañas de observación: 1ª observación 24 de Noviembre de 2010 y 2ª observación 27 de Abril de 2011.

⁷⁷ Cfr. Epígrafe 4.3. Procesamiento de los vectores de la Red con la aplicación DDBase.

⁷⁸ Los valores de los incrementos de X e Y obtenidos en la 1ª observación GNSS llevarán el índice (1).

⁷⁹ Los valores de los incrementos de X e Y obtenidos en la 2ª observación GNSS llevarán el índice (2).

se reproducen con la notación de rutina usual. Es por tanto ineludible cercionarse de que todos y cada uno de los observables que intervengan en los cálculos satisfagan las expresiones anteriores, debiendo ser rechazados los que no lo hagan.

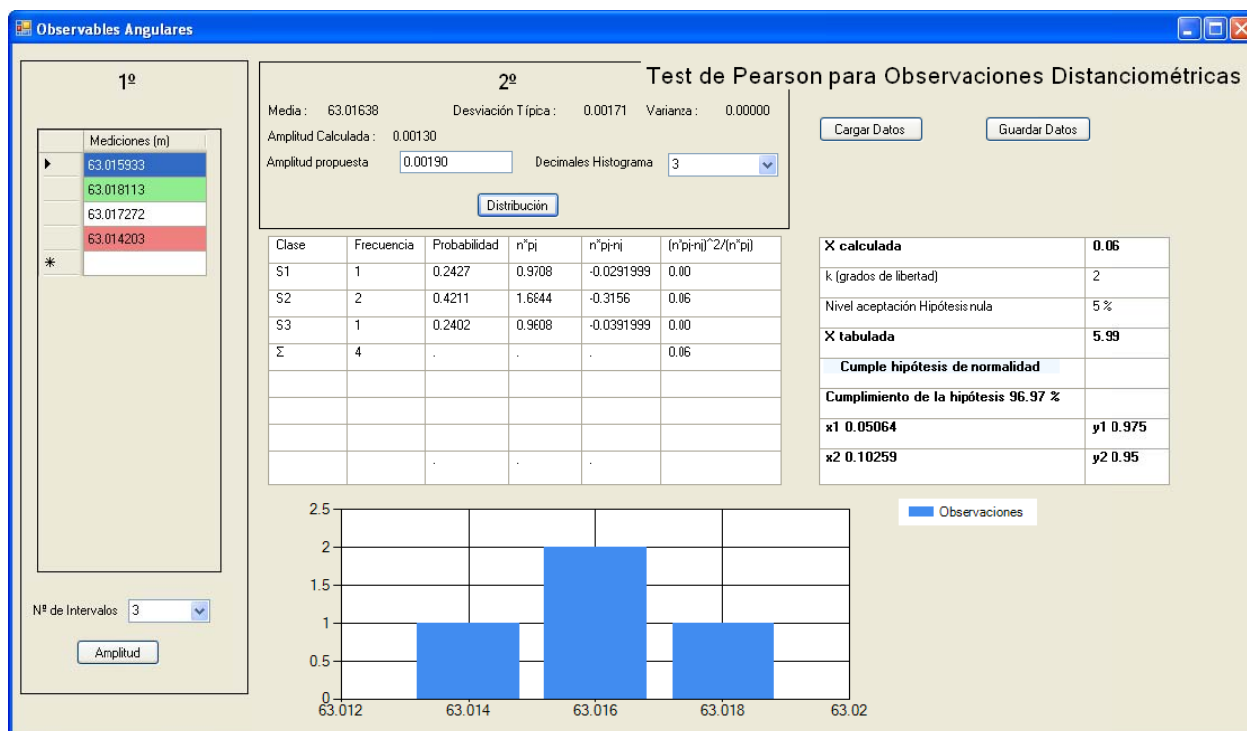
A este efecto se ha contrastado cada uno de ellos a través del Test de Adherencia de Pearson, que también damos por conocido⁸⁰.

Referente a la aplicación particular de esta red local, merece la pena tener en cuenta una cuestión previa importante. La suposición como hipótesis nula de que la distribución es normal, conducente en la práctica más extendida a adoptar un nivel de significación de uno o a lo más cinco por ciento, a efectos de prevenir la comisión del posible error de orden uno (rechazo de la hipótesis nula siendo cierta) no es aconsejable por ser poco rigurosa. En este caso, una red caracterizada por un escaso número de vértices, es asequible lograr que el número de observables sea siempre superabundante y no se debe vacilar en desprenderse de un cierto número de ellos si son sospechosos, aún en grado menor, de no cumplir la condición de normalidad. El óptimo del parámetro contrastado es cero y a ello debe tenderse porque el riesgo contrario (error de orden dos, aceptación de la hipótesis nula, siendo errónea o aceptación de observables de distribución no normal) es mucho más peligroso.

Teniendo en cuenta el análisis realizado, en el capítulo anterior, de las gráficas de los residuos de las dobles diferencias se ha tenido que prescindir de algunos observables, tal y como ya se ha indicado, para asegurar la condición de normalidad de dichos observables.

Con la siguiente aplicación⁸¹ se han contrastado todos los observables mediante el Test de Adherencia de Pearson. Se muestra a continuación, como ejemplo, la curva de distribución del observable ΔX_{V1-V2} de la 1ª observación.

⁸⁰ Véase cualquier Manual de Estadística. O bien “Tratado de Topografía” Tomo I. Pag.36 y sig. M. CHUECA ET ALT.



Todos los incrementos GNSS bidimensionales superan sobradamente el test de normalidad de Pearson, tomando cuatro decimales, llegando así a la décima de milímetro. El porcentaje de aceptación se recoge en el cuadro siguiente, que en ningún caso es inferior al 80%. Podemos disponer, en principio, de todos los incrementos en el ajuste de la red.

Incremento	Porcentaje de aceptación	Incremento	Porcentaje de aceptación
ΔX_{V2-V4} (1)	84,35 %	ΔX_{V2-V4} (2)	88,35 %
ΔY_{V2-V4} (1)	85,48 %	ΔY_{V2-V4} (2)	86,18 %
ΔX_{V2-V3} (1)	80,95 %	ΔX_{V2-V3} (2)	80,15 %
ΔY_{V2-V3} (1)	91,27 %	ΔY_{V2-V3} (2)	87,80 %
ΔX_{V1-V2} (1)	96,97 %	ΔX_{V1-V2} (2)	88,56 %
ΔY_{V1-V2} (1)	92,49 %	ΔY_{V1-V2} (2)	84,68 %

En todo momento se ha prescindido de la tercera coordenada z_{ij} porque el levantamiento es bidimensional.

⁸¹ Cfr. Epígrafe 3.2.1. del artículo “Ajuste Gaussiano de redes por el método de incrementos de coordenadas”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ, N. QUESADA OLMO ET ALT.

4.5.2. CÁLCULO DE COORDENADAS APROXIMADAS

Las coordenadas aproximadas⁸² que se han empleado en el ajuste son las calculadas por el camino de mejor consistencia:

Vértice	X (m)	Y (m)
V ₁	99,99970	166,59777
V ₂	163,01455	154,2486
V ₃	167,52085	88,01078
V ₄	100	100

A partir de éstas se calculan los valores de los incrementos de x e y, obteniendo:

Incremento calculado (m)	
$\Delta X_{V_2-V_4}$	-63.01455
$\Delta Y_{V_2-V_4}$	-54.2486
$\Delta X_{V_2-V_3}$	4.50625
$\Delta Y_{V_2-V_3}$	-66.23782
$\Delta X_{V_1-V_2}$	63.01485
$\Delta Y_{V_1-V_2}$	-12.34898

4.5.3. FORMAS LINEALES ESPECÍFICAS DE LOS INCREMENTOS DE COORDENADAS

Siguiendo el texto del epígrafe teórico 5.2 los observables genéricos, sean o no GNSS, los escribimos con la notación ΔX_{ij} , ΔY_{ij} , ΔZ_{ij} , y son las proyecciones sobre los ejes de la distancia entre los vértices I (X_i , Y_i , Z_i) y J (X_j , Y_j , Z_j).

En nuestro caso, a partir de los observables GNSS se calculan los incrementos entre el vértice libre V₂ y los vértices ligados V₁, V₃ y V₄. Esos incrementos constituyen los observables que forman el sistema lineal de ecuaciones.

⁸² Cfr. Epígrafe 3.3.2 del artículo “Progreso en la práctica del ajuste gaussiano...”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ ET ALT.

Conocido el vector de coordenadas aproximadas $X_a = X - x$, entre dos puntos M y P se podrá escribir:

$$x_M - x_P = \Delta X_{MP0} - \Delta X_{MPa} + R_{X_{MP}}$$

$$y_M - y_P = \Delta Y_{MP0} - \Delta Y_{MPa} + R_{Y_{MP}}$$

$$z_M - z_P = \Delta Z_{MP0} - \Delta Z_{MPa} + R_{Z_{MP}}$$

es decir

$$\text{Correcciones} = \text{Valores Observados} - \text{Valores Calculados} + \text{Residuos}$$

que equivale a

$$AX = K + R$$

cuya resolución por mínimos cuadrados proporciona directamente las coordenadas compensadas.

Siendo la **matriz A**, constituida por las 6 formas lineales de incrementos de coordenadas que intervienen en el ajuste, una matriz de diseño del tipo de las que se llaman de “elementos exactos”. Cuya forma es la siguiente:

matriz A		
	dx_{v2}	dy_{v2}
$\Delta X_{v2-v4} (1)$	-1	0
$\Delta Y_{v2-v4} (1)$	0	-1
$\Delta X_{v2-v3} (1)$	-1	0
$\Delta Y_{v2-v3} (1)$	0	-1
$\Delta X_{v1-v2} (1)$	-1	0
$\Delta Y_{v1-v2} (1)$	0	-1
$\Delta X_{v2-v4} (2)$	-1	0
$\Delta Y_{v2-v4} (2)$	0	-1
$\Delta X_{v2-v3} (2)$	-1	0
$\Delta Y_{v2-v3} (2)$	0	-1
$\Delta X_{v1-v2} (2)$	-1	0
$\Delta Y_{v1-v2} (2)$	0	-1

El **vector K** se obtiene con los incrementos obtenidos a partir de los vectores GNSS observados y procesados con la aplicación DDBase y con los incrementos calculados según la tabla anterior, aplicando la expresión usual:

$$K = \text{Incrementos Observados} - \text{Incrementos Calculados}$$

	vector K
$\Delta X_{v2-v4} (1)$	0.00155
$\Delta Y_{v2-v4} (1)$	0.00134
$\Delta X_{v2-v3} (1)$	-0.00271
$\Delta Y_{v2-v3} (1)$	0.00972
$\Delta X_{v1-v2} (1)$	0.00155
$\Delta Y_{v1-v2} (1)$	-0.00030
$\Delta X_{v2-v4} (2)$	-0.00050
$\Delta Y_{v2-v4} (2)$	-0.00043
$\Delta X_{v2-v3} (2)$	-0.00299
$\Delta Y_{v2-v3} (2)$	0.02686
$\Delta X_{v1-v2} (2)$	0.00772
$\Delta Y_{v1-v2} (2)$	0.00147

Apoyándonos en el ajuste por triangulateración previo⁸³ de la red hemos decidido eliminar los incrementos de coordenadas que presentan un valor excesivo en el vector K comparado con el resto de elementos de dicho vector, ya que es conocido que se desencadenará un valor alto en el residuo correspondiente y una interpretación distorsionada de los estimadores finales del ajuste.

Concretamente en la red GNSS ajustada por incrementos de coordenadas, el valor del elemento de K referido al observable $\Delta Y_{v2-v3} (2)$ es de 26,86 mm, un valor alto respecto al resto que se sitúan en el entorno milimétrico, por ello se confirma la decisión de no utilizar este incremento en el sistema de ecuaciones lineales definitivo.

⁸³ Cfr. Epígrafe 3.2.1 “Ajuste Gaussiano de redes por el método de incrementos de coordenadas”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ, N. QUESADA OLMO ET ALT.

Sabemos que cada componente ΔX_{MPo} , ΔY_{MPo} , con vértices genéricos M, P de la red, tiene varianzas y covarianzas que podemos calcular a partir de la libreta de campo con las siguientes expresiones:

$$\sigma_{\Delta X_{MP}}^2 = \frac{\sum(\Delta X_{MPo} - \bar{\Delta X}_{MPo})^2}{n_{MP} - 1} = \text{varianza de } \Delta X_{MPo}$$

$$\sigma_{\Delta Y_{MP}}^2 = \frac{\sum(\Delta Y_{MPo} - \bar{\Delta Y}_{MPo})^2}{n_{MP} - 1} = \text{varianza de } \Delta Y_{MPo}$$

$$\hat{\sigma}_{\Delta X_{MP} \Delta Y_{MP}} = \frac{\sum(\Delta X_{MPo} - \bar{\Delta X}_{MPo}) \cdot (\Delta Y_{MPo} - \bar{\Delta Y}_{MPo})}{n_{MP} - 1} = \text{covarianza de } \Delta X_{MPo} \Delta Y_{MPo}$$

Así puede formarse la matriz varianza covarianza de los observables a priori Σ_o . Nos encontramos con una matriz varianza covarianza banda, con dependencia entre las variables que constituyen una pareja de incrementos de coordenadas, siendo el resto de los elementos de la matriz nulos.

$$\Sigma_o = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x_{o12}}^2 & \sigma_{\Delta x_{o12}, \Delta y_{o12}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{\Delta x_{o12}, \Delta y_{o12}} & \sigma_{\Delta y_{o12}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{oij}}^2 & \sigma_{\Delta x_{oij}, \Delta y_{oij}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{oij}, \Delta y_{oij}} & \sigma_{\Delta y_{oij}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{o(n-1)-n}}^2 & \sigma_{\Delta x_{o(n-1)-n}, \Delta y_{o(n-1)-n}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta x_{o(n-1)-n}, \Delta y_{o(n-1)-n}} & \sigma_{\Delta y_{o(n-1)-n}}^2 \end{bmatrix}$$

Para evitar el problema de las covarianzas entre los incrementos de la red se resuelven **dos redes con los incrementos de cada una de las variables ΔX_{MPo} , ΔY_{MPo}** , con su propio sistema por separado y cuya solución responde a un ajuste Gauss-Marcov, de modo que se eliminan las covarianzas que incomodan.

Así pues, distribuyendo los incrementos, ΔX_{MP0} y ΔY_{MP0} , en dos matrices parciales de diseño A_1 y A_2 , consiguiendo así matrices parciales diagonales Σ_1 y Σ_2 , y aplicando, a cada una de ellas, el procedimiento general de ajuste. De modo que obtenemos cada una de las variables en la subred correspondiente.

Las matrices parciales de diseño A_1 y A_2 , que proceden de la matriz A son:

matriz A_1

	dx_{v2}
ΔX_{v2-v4} (1)	-1
ΔX_{v2-v3} (1)	-1
ΔX_{v1-v2} (1)	-1
ΔX_{v2-v4} (2)	-1
ΔX_{v2-v3} (2)	-1
ΔX_{v1-v2} (2)	-1

matriz A_2

	dy_{v2}
ΔY_{v2-v4} (1)	-1
ΔY_{v2-v3} (1)	-1
ΔY_{v1-v2} (1)	-1
ΔY_{v2-v4} (2)	-1
ΔY_{v1-v2} (2)	-1

En cuanto a los vectores K_1 y K_2 , que se obtienen a partir de K:

	vector K_1
ΔX_{v2-v4} (1)	0.00155
ΔX_{v2-v3} (1)	-0.00271
ΔX_{v1-v2} (1)	0.00155
ΔX_{v2-v4} (2)	-0.00050
ΔX_{v2-v3} (2)	-0.00299
ΔX_{v1-v2} (2)	0.00772

	vector K_2
ΔY_{v2-v4} (1)	0.00134
ΔY_{v2-v3} (1)	0.00972
ΔY_{v1-v2} (1)	-0.00030
ΔY_{v2-v4} (2)	-0.00043
ΔY_{v1-v2} (2)	0.00147

4.5.4. PONDERACIÓN DE OBSERVABLES.

4.5.4.1. VARIANZA DEL OBSERVABLE DE PESO UNIDAD.

Con el fin de justificar la ponderación previa al ajuste, se desarrolla el planteamiento que sigue según teoría conocida.

Sea el vector de observables O , y el de observables promediados O_T .

Se tendrá, para un observable de orden i , ($i \in 1, 2, 3, \dots, m_i$, para $m_i > 1$):

$$\hat{\sigma}_{O_i}^2 = \frac{\sum(O_{Ti} - O_i)^2}{m_i - 1}$$

$$\hat{\sigma}_{O_{Ti}} = \frac{\hat{\sigma}_{O_i}}{\sqrt{m_i}}; \text{ ambos valores son conocidos: } \hat{\sigma}_{O_i}^2 \text{ y } m_i$$

Por definición de peso:

$$P_{O_{Ti}} = \frac{\sigma^2}{\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2} = \frac{\sigma^2}{\left(\frac{\hat{\sigma}_{O_i}}{\sqrt{m_i}}\right)^2} = \sigma^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{m_i}}{\hat{\sigma}_{O_i}}\right)^2 = \sigma^2 \cdot \frac{m_i}{\hat{\sigma}_{O_i}^2} \propto \frac{m_i}{\hat{\sigma}_{O_i}^2}$$

Siendo en esta última ecuación σ^2 el factor de varianza o varianza del observable de peso unidad. Directamente se deduce que los pesos serán siempre adimensionales.

4.5.4.2. PONDERACIÓN SEGÚN LOS OBSERVABLES DE LA RED⁸⁴.

Se propone a continuación una ponderación que se apoya en los observables de la red, tanto para observaciones clásicas como para observaciones GNSS que es como se pretende calcular. Se utilizarán datos más reales y, en general, diferentes para cada observable, ajustándose así a lo que ha sido la observación GNSS de campo de la red, con sus

⁸⁴ Cfr. capítulo 4 del artículo “Progreso en la práctica del ajuste gaussiano...”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ ET ALT.

características propias (entre las que se encuentran la geometría de la propia red, situación de los vértices, etc).

Se considera que el valor de la varianza del observable de peso unidad σ_0^2 que más se ajusta a su valor real es el de la mediana de los valores de $\hat{\sigma}_{0Ti}$, obtenidos a partir de los datos de campo. Y así se ha hecho en los cálculos, mejorando notablemente tanto el resultado como su interpretación, como se verá en epígrafes posteriores.

A partir de las ecuaciones:

$$\hat{\sigma}_{0i}^2 = \frac{\sum(O_{Ti} - O_i)^2}{m_i - 1}$$

$$\sigma_{0Ti} = \frac{\sigma_{0i}}{\sqrt{m_i}}$$

se calcula σ_{0Ti}^2 para cada observable de nuestra red.

De entre los valores σ_{0Ti}^2 seleccionamos la mediana, y desde ese momento la mediana se convierte en la varianza del observable de peso unidad σ_0^2 .

Una vez conocidos σ_0^2 y σ_{0Ti}^2 obtenemos el peso de cada uno de los observables según la ecuación:

$$P_{0Ti} = \frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_{0Ti}^2}$$

4.5.4.3. MATRIZ DE PESOS

Se inicia el cálculo de las desviaciones típicas y varianzas de los observables incrementos de coordenadas, cuyos valores para cada incremento se presentan en los cuadros a continuación:

1ª observación (1)⁸⁵

	$\Delta X_{V2-V4}(1)$	$\Delta y_{V2-V4}(1)$	$\Delta X_{V2-V3}(1)$	$\Delta y_{V2-V3}(1)$	$\Delta X_{V1-V2}(1)$	$\Delta y_{V1-V2}(1)$
$\sigma_{\Delta xy}$	2.619362334	2.254983008	4.188427604	6.920604025	1.325200997	0.259698795
$\sigma_{\Delta xy}^2$	6.86106E-06	5.08495E-06	1.75429E-05	4.78948E-05	1.75616E-06	6.74435E-08

2ª observación (2)⁸⁶

	$\Delta X_{V2-V4}(2)$	$\Delta y_{V2-V4}(2)$	$\Delta X_{V2-V3}(2)$	$\Delta X_{V1-V2}(2)$	$\Delta y_{V1-V2}(2)$
$\sigma_{\Delta xy}$	4.806697676	4.138038271	3.996738005	5.288022101	5.149944104
$\sigma_{\Delta xy}^2$	2.31043E-05	1.71234E-05	1.59739E-05	2.79632E-05	2.65219E-05

Una vez conocido las varianzas de cada una de las formas lineales de incremento seleccionamos de entre ellas el valor de la mediana, que desde ese momento se convierte en el estimador de la varianza a priori del observable de peso unidad σ_0^2 . Como tenemos dos ajustes tendremos también dos medianas, una para cada subred.

Distribuyendo los incrementos en dos matrices parciales, como vimos en el apartado anterior, formamos dos sistemas de formas lineales, para evitar covarianzas: la subred X (para la variable Δx) y la subred Y (para la variable Δy).

Subred X

	$\Delta X_{V2-V4}(2)$	$\Delta X_{V2-V3}(2)$	$\Delta X_{V1-V2}(2)$	$\Delta X_{V2-V4}(1)$	$\Delta X_{V2-V3}(1)$	$\Delta X_{V1-V2}(1)$
$\sigma_{\Delta xy}$	4.806697676	3.996738005	5.288022101	2.619362334	4.188427604	1.325200997
$\sigma_{\Delta xy}^2$	2.31043E-05	1.59739E-05	2.79632E-05	6.86106E-06	1.75429E-05	1.75616E-06

La mediana (varianza a priori del observable de peso unidad) de la subred X es:

$$\sigma_0^2 = 1,6758 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

Y finalmente se calcula el peso de cada observable de la subred X con la expresión:

⁸⁵ Los valores de los incrementos de X e Y obtenidos en la 1ª observación GNSS llevarán el índice (1).

⁸⁶ Los valores de los incrementos de X e Y obtenidos en la 2ª observación GNSS llevarán el índice (2).

$$P_{O_{Ti}} = \frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2}$$

Obteniendo los siguientes pesos para cada variable de la subred X:

	Mediana = σ_0^2	Varianza = $\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2$	Peso = $P_{O_{Ti}} = \frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2}$
ΔX_{V2-V4} (2)	1.6758E-05	2.31043E-05	0.72
ΔX_{V2-V3} (2)	1.6758E-05	1.59739E-05	1.05
ΔX_{V1-V2} (2)	1.6758E-05	2.79632E-05	0.60
ΔX_{V2-V4} (1)	1.6758E-05	6.86106E-06	2.44
ΔX_{V2-V3} (1)	1.6758E-05	1.75429E-05	5.96
ΔX_{V1-V2} (1)	1.6758E-05	1.75616E-06	9.54

Se repite el mismo procedimiento para la ajuste de la variable Δy , denominada subred

Y.

Subred Y

	Δy_{V2-V4} (2)	Δy_{V1-V2} (2)	Δy_{V2-V4} (1)	Δy_{V2-V3} (1)	Δy_{V1-V2} (1)
$\sigma_{\Delta y}$	4.138038271	5.149944104	2.254983008	6.920604025	0.259698795
$\sigma_{\Delta y}^2$	1.71234E-05	2.65219E-05	5.08495E-06	4.78948E-05	6.74435E-08

La mediana de la subred Y (varianza a priori del observable de peso unidad) es:

$$\sigma_0^2 = 1,71234 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

Y finalmente se calcula el peso de cada observable de la subred Y con la expresión:

$$P_{O_{Ti}} = \frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2}$$

Obteniendo los siguientes pesos para cada variable de la subred Y:

	Mediana = σ_0^2	Varianza = $\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2$	$Peso = P_{O_{Ti}} = \frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2}$
Δy_{v2-v4} (2)	1.71234E-05	1.71234E-05	1
Δy_{v1-v2} (2)	1.71234E-05	2.65219E-05	0.64
Δy_{v2-v4} (1)	1.71234E-05	5.08495E-06	3.37
Δy_{v2-v3} (1)	1.71234E-05	4.78948E-05	0.36
Δy_{v1-v2} (1)	1.71234E-05	6.74435E-08	253.89

El peso obtenido para el observable Δy_{v1-v2} (1), perteneciente a la 1ª campaña de observación, desvirtúa el sistema de formas lineales y empeora la interpretación del ajuste.

Por ello se cree conveniente eliminar dicho observable, de manera que se obtienen los resultados siguientes:

	Mediana = σ_0^2	Varianza = $\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2$	$Peso = P_{O_{Ti}} = \frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_{O_{Ti}}^2}$
Δy_{v2-v4} (2)	2.18226E-05	1.71234E-05	1.27
Δy_{v1-v2} (2)	2.18226E-05	2.65219E-05	0.82
Δy_{v2-v4} (1)	2.18226E-05	5.08495E-06	4.29
Δy_{v2-v3} (1)	2.18226E-05	4.78948E-05	0.46

4.5.5. SÍNTESIS Y RESULTADOS DEL AJUSTE DE LA RED GNSS POR EL MÉTODO DE INCREMENTOS DE COORDENADAS

Conocidas las matrices parciales de diseño A_1 , A_2 , los vectores K_1 , K_2 y las matrices de pesos P_1 y P_2 . Iniciamos el ajuste de la subred X y la subred Y.

4.5.5.1. LA MATRIZ A_1 , LA MATRIZ DE PESOS P_1 Y EL VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES K_1 DE LA SUBRED X

MATRIZ A_1

$$A(1, 1) = -1$$

$$A(2, 1) = -1$$

$$A(3, 1) = -1$$

$$A(4, 1) = -1$$

$$A(5, 1) = -1$$

$$A(6, 1) = -1$$

VECTOR K_1 [m]

$$k(1) = -5.011E-004$$

$$k(2) = -2.9947E-003$$

$$k(3) = 7.7169E-003$$

$$k(4) = 1.5548E-003$$

$$k(5) = -2.71E-003$$

$$k(6) = 1.5464E-003$$

MATRIZ DIAGONAL P_1 [adimensional]

$$\text{Peso del observable 1} \quad 0.72$$

$$\text{Peso del observable 2} \quad 1.05$$

$$\text{Peso del observable 3} \quad 0.6$$

$$\text{Peso del observable 4} \quad 2.44$$

$$\text{Peso del observable 5} \quad 0.96$$

$$\text{Peso del observable 6} \quad 9.54$$

4.5.5.2. LA MATRIZ A_2 , LA MATRIZ DE PESOS P_2 Y EL VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES K_2 DE LA SUBRED Y

MATRIZ A_2

$$A(1, 1) = -1$$

$$A(2, 1) = -1$$

$$A(3, 1) = -1$$

$$A(4, 1) = -1$$

VECTOR K_2 [m]

$$k(1) = -4.3136E-004$$

$$k(2) = 1.47028E-003$$

$$k(3) = 1.33856E-003$$

$$k(4) = 9.72567E-003$$

MATRIZ DIAGONAL P_2 [adimensional]

$$\text{Peso del observable 1} \quad 1.27$$

$$\text{Peso del observable 2} \quad 0.83$$

$$\text{Peso del observable 3} \quad 4.29$$

$$\text{Peso del observable 4} \quad 0.46$$

4.5.5.3. EL VECTOR DE VARIABLES, EL VECTOR DE RESIDUOS Y LA VARIANZA A POSTERIORI DEL OBSERVABLE DE PESO UNIDAD EN LA SUBRED X GNSS. RESULTADO DEL AJUSTE.

El resultado se expresa según:

- diferencial de la coordenada x: dx_{V2}

VARIABLES O PARÁMETROS [m]

diferencial de la coordenada x: $dx_{V2} = -1.115 \text{ E-003} = \text{RESULTADO DEL AJUSTE}$

RESIDUOS [m]

1.616 E-003

4.110 E-003

-6.602 E-003

-4.399 E-004

3.825 E-003

-4.315 E-004

Varianza de la medida de peso ud. = 1.2412 E-005 m²

Desviación típica de la medida de peso ud. = 3.523 E-003 m

La desviación típica a posteriori del observable de peso unidad es la esperable, considerando que la desviación típica a priori del observable de peso unidad es $4,09 \cdot 10^{-3}$ m. La diferencia entre la desviación típica a priori $4,09 \cdot 10^{-3}$ m y a posteriori $3,52 \cdot 10^{-3}$ m es de 0,57mm., confirmando la bondad del cálculo y trabajo.

4.5.5.4. EL VECTOR DE VARIABLES, EL VECTOR DE RESIDUOS Y LA VARIANZA A POSTERIORI DEL OBSERVABLE DE PESO UNIDAD EN LA SUBRED Y GNSS. RESULTADO DEL AJUSTE.

El resultado se expresa según:

- diferencial de la coordenada y: dy_{V2}

VARIABLES O PARÁMETROS [m]

diferencial de la coordenada x: $dy_{V2} = -1.586 \text{ E-003} = \text{RESULTADO DEL AJUSTE}$

RESIDUOS [m]

2.021 E-003

1.193 E-004

2.510 E-004

-8.136 E-003

Varianza de la medida de peso ud. = 1.1973 E-005 m²

Desviación típica de la medida de peso ud. = 3.460 E-003 m

La diferencia entre la desviación típica a priori $4,67 \cdot 10^{-3}$ m y a posteriori $3,46 \cdot 10^{-3}$ m es de 1,21 mm.

4.5.5.5. LAS MATRICES DE CRITERIO DE LA SUBRED X

Matriz cofactor de las Variables o PARÁMETROS.

+0.06531678

Matriz cofactor de los RESIDUOS.

+1.32357210 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679
 -0.06531679 +0.88706416 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679
 -0.06531679 -0.06531679 +1.60134988 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679
 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 +0.34451927 -0.06531679 -0.06531679
 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 +0.97634988 -0.06531679
 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 -0.06531679 +0.03950501

Matriz cofactor de los observables corregidos.

+0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678
 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678
 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678
 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678
 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678
 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678 +0.06531678

Matriz varianza-covarianza de las variables o PARAMETROS.

+0.00000081

Matriz varianza-covarianza a posteriori de los residuos.

+0.00001642 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081
 -0.00000081 +0.00001100 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081
 -0.00000081 -0.00000081 +0.00001987 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081
 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 +0.00000427 -0.00000081 -0.00000081
 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 +0.00001211 -0.00000081
 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 -0.00000081 +0.00000049

Matriz varianza-covarianza a posteriori de los observables corregidos.

+0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081
 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081
 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081
 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081
 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081
 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081 +0.00000081

4.5.5.6. LAS MATRICES DE CRITERIO DE LA SUBRED Y

Matriz cofactor de las Variables o PARAMETROS.

+0.14598540

Matriz cofactor de los RESIDUOS.

+0.64141617 -0.14598540 -0.14598540 -0.14598540
 -0.14598540 +1.05883387 -0.14598540 -0.14598540
 -0.14598540 -0.14598540 +0.08711483 -0.14598540
 -0.14598540 -0.14598540 -0.14598540 +2.02792764

Matriz cofactor de los observables corregidos.

+0.14598540 +0.14598540 +0.14598540 +0.14598540
 +0.14598540 +0.14598540 +0.14598540 +0.14598540
 +0.14598540 +0.14598540 +0.14598540 +0.14598540
 +0.14598540 +0.14598540 +0.14598540 +0.14598540

Matriz varianza-covarianza de las variables o PARAMETROS.

+0.00000174

Matriz varianza-covarianza a posteriori de los residuos.

+0.00000767 -0.00000175 -0.00000175 -0.00000175
 -0.00000175 +0.00001267 -0.00000175 -0.00000175
 -0.00000175 -0.00000175 +0.00000104 -0.00000175
 -0.00000175 -0.00000175 -0.00000175 +0.00002428

Matriz varianza-covarianza a posteriori de los observables corregidos.

+0.00000174 +0.00000174 +0.00000174 +0.00000174
 +0.00000174 +0.00000174 +0.00000174 +0.00000174
 +0.00000174 +0.00000174 +0.00000174 +0.00000174
 +0.00000174 +0.00000174 +0.00000174 +0.00000174

4.5.5.7. COMPROBACIÓN DE LOS OBSERVABLES: FIABILIDAD INTERNA DE LA SUBRED X

Se entiende por fiabilidad interna de la red, como su capacidad de detección y control de posibles errores “groseros” en los observables. A través de ella, es posible cifrar la sensibilidad de la red ante los errores groseros.

La redundancia de un observable es un parámetro adimensional, y nos muestra lo bien o mal que está “controlado” dicho observable⁸⁷.

La expresión que nos permite calcular el número de redundancias de un observable es:

$$r_i = p_i \cdot q_i$$

donde

r_i : redundancia de un observable

p_i : peso de un observable

q_i : elemento de orden *ii* de la matriz cofactor de los residuos a posteriori

Nuestras redundancias son homogéneas y próximas a $\frac{5}{6} = 0,83$. La mayoría está en torno a la redundancia media 0,83, que en la práctica es el valor óptimo, puesto que la suma

⁸⁷ Cfr. M. CHUECA ET. ALT. “Tratado de Topografía” Tomo III, pag. 295 y siguientes.

de las redundancias debe valer 5, redundancia total de la red. Tiene un valor más pequeño el observable nº6, debido a que su peso no es homogéneo respecto al resto de observables y distorsiona la interpretación.

Comprobaciones de Fiabilidad Interna de la red

Comprobaciones de REDUNDANCIAS

Observ	Peso	Cofactor	Redundancia
1	+0.72	+1.32357210	+0.95297191
2	+1.05	+0.88706416	+0.93141737
3	+0.6	+1.60134988	+0.96080992
4	+2.44	+0.34451927	+0.84062704
5	+0.96	+0.97634988	+0.93729588
6	+9.54	+0.03950501	+0.37687785

Suma de Redundancias = +5

El parámetro de Baarda depende del nivel de significación α y de la potencia del test β , en nuestro caso se ha establecido $\alpha = 5\%$ y $\beta = 80\%$. El parámetro de Baarda se obtiene a partir de la expresión:

$$W_i = \frac{R_i}{\sigma_{Ri}}$$

El parámetro de Baarda es el que se emplea para eliminar o rechazar un observable. Además este parámetro permite controlar los errores groseros introducidos en la red.

De este modo un observable será rechazado cuando el parámetro de Baarda sea superior al punto porcentual establecido para el nivel de significación, que en este caso es 3,29 ($w_i < 3,29$). Todos los parámetros de Baarda en nuestro caso se encuentran en el intervalo $[+1,23, -1,48] < 3,29$, y por tanto todos los observables son aceptados.

Comprobaciones de Fiabilidad Interna de la red

Comprobaciones de Error grosero (TEST DE BAARDA)

Observación	Residuo(R_i)	Error cuad. (σ_i)	Variable de Baarda (w_i).
1	+0.00161603	+0.00405311	+0.39871442
2	+0.00410963	+0.00331812	+1.23854116
3	-0.00660196	+0.00445819	-1.48086177
4	-0.00043986	+0.00206786	-0.21271371
5	+0.00382493	+0.00348111	+1.09876810
6	-0.00043146	+0.00070023	-0.61617243

El mínimo error detectable para un observable se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\nabla_{oi} = \frac{\delta \cdot \sigma_i}{\sqrt{r_i}}$$

siendo δ el parámetro de translación, función de $\alpha = 5\%$ y $\beta = 80\%$, y que tiene un valor de 4,12.

En consecuencia el error máximo que puede deslizarse en uno de nuestros observables y no ser detectado es de 0,00604 metros (observable nº 6). Nos encontramos en el entorno de los valores esperables para una observación GNSS.

El parámetro de homogeneidad, $\mu_{INI} = \frac{\delta_o}{\sqrt{r_i}}$, confirma la información facilitada por los números de redundancia, coincidiendo también en la interpretación del observable nº6.

Comprobaciones de Fiabilidad interna de la red

Valor de para el nivel de significación α , y potencia β del test , $\delta = 4.12$

Observ	(σ_i)	$(\sqrt{r_i})$	(∇_{oi})	Parámetro de Homogeneidad $\mu_{INI} = \frac{\delta_o}{\sqrt{r_i}}$
1	+0.00090038	+0.97620280	+0.00380001	+4.22043450
2	+0.00090038	+0.96509967	+0.00384373	+4.26898912
3	+0.00090038	+0.98020912	+0.00378448	+4.20318470
4	+0.00090038	+0.91685715	+0.00404597	+4.49361166
5	+0.00090038	+0.96814042	+0.00383165	+4.25558099
6	+0.00090038	+0.61390378	+0.00604261	+6.71114936

4.5.5.8. COMPROBACIÓN DE LOS OBSERVABLES: FIABILIDAD INTERNA DE LA SUBRED Y

Se procede a analizar los mismos parámetros obtenidos que en el estudio de la subred X.

En este caso los parámetros de fiabilidad interna difieren respecto a los de la subred anterior, aunque las redundancias son homogéneas y próximas a $\frac{3}{4} = 0,75$, que es el valor definido como óptimo, puesto que la suma de las redundancias debe valer 3, redundancia total de la red.

Comprobaciones de Fiabilidad Interna de la red

Comprobaciones de REDUNDANCIAS

Observ	Peso	Cofactor	Redundancia
1	+1.27	+0.64141617	+0.81459854
2	+0.83	+1.05883387	+0.87883211
3	+4.29	+0.08711483	+0.37372262
4	+0.46	+2.02792764	+0.93284671

Suma de Redundancias = +3

Recordando que el parámetro de Baarda es el que se emplea para eliminar o rechazar un observable, pudiendo controlar los errores groseros introducidos en la red.

De este modo un observable será rechazado cuando el parámetro de Baarda sea superior al punto porcentual establecido para el nivel de significación, que en este caso es 3,29 ($w_i < 3,29$). Todos los parámetros de Baarda en nuestro caso se encuentran en el intervalo $[+0,03, -1,65] < 3,29$, y por tanto todos los observables son aceptados.

Comprobaciones de Fiabilidad Interna de la red

Comprobaciones de Error grosero (TEST DE BAARDA)

Observación	Residuo(R_i)	Error cuad. (σ_i)	Variable de Baarda (w_i).
1	+0.00202095	+0.00277123	+0.72926316
2	+0.00011931	+0.00356054	+0.03351071
3	+0.00025103	+0.00102128	+0.24580348
4	-0.00813607	+0.00492752	-1.65114765

Por último, el error máximo que puede deslizarse en uno de nuestros observables y no ser detectado es de 0,0089 metros (observable nº 3).

El parámetro de homogeneidad, $\mu_{INI} = \frac{\delta_o}{\sqrt{r_i}}$, confirma la información facilitada por los números de redundancia, coincidiendo también en la interpretación del observable nº6.

Comprobaciones de Fiabilidad interna de la red

Valor de para el nivel de significación α , y potencia β del test, $\delta = 4.12$

Observ	(σ_i)	($\sqrt{r_i}$)	(∇_{oi})	Parámetro de Homogeneidad $\mu_{INI} = \frac{\delta_o}{\sqrt{r_i}}$
1	+0.00132207	+0.90255112	+0.00603507	+4.56483834
2	+0.00132207	+0.93746046	+0.00581034	+4.39485201
3	+0.00132207	+0.61132857	+0.00891004	+6.73941994
4	+0.00132207	+0.96583990	+0.00563961	+4.26571732

Sin embargo, la fiabilidad interna en sí misma no facilita información sobre la repercusión última que puede tener la aparición de errores como los descritos en las coordenadas de los vértices de la red, solución del problema. El análisis de la fiabilidad externa de la red nos dirá cómo influirá en dichos resultados los errores no detectados por el análisis de la fiabilidad interna.

4.5.5.9. COMPROBACIÓN DE LOS OBSERVABLES: FIABILIDAD EXTERNA DE LA SUBRED X

Una aceptable fiabilidad interna de la red puede no ser suficiente para garantizar la calidad del ajuste. El debido rigor en el trabajo requiere completar su estudio con la descripción de la fiabilidad externa, para que no se deteriore la calidad exigible en la precisión por los errores despreciados o no detectados.

La fiabilidad externa quedará definida por los siguientes elementos:

1 - Los parámetros de homogeneidad $\mu_{ENi} = \mu_{INi} \cdot \sqrt{1 - r_i}$ (conocido $\mu_{INi} = \frac{\delta_o}{\sqrt{r_i}}$).

La calidad del ajuste es inversamente proporcional al valor de los parámetros de homogeneidad. Es claro que en una red tan pequeña la información que ofrecen tanto μ_{ENi} como μ_{INi} es muy escasa. Sin embargo en una red amplia puede ser muy importante poner de manifiesto las diferencias de nivel de control entre unas zonas y otras.

2 - Los vectores son $\nabla_{x_{oi}} = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T P e_i \nabla_{oi}$.

Un error no detectado ∇_{oi} en el observable de orden i afectaría a cada variable según:

$$\text{error } dx_{V2} = \text{Variable } 1$$

Comprobaciones de Fiabilidad Externa de la red.

Obs	$\sqrt{1 - r_i}$	Parametro de Homogeneidad $\mu_{ENi} = \mu_{INi} \cdot \sqrt{1 - r_i}$
1	+0.21685960	+0.91524174
2	+0.26188284	+1.11797502
3	+0.19796482	+0.83208272
4	+0.39921542	+1.79391910
5	+0.25040789	+1.06563108
6	+0.78938086	+5.29765285

Como era de esperar en la subred tan pequeña el parámetro de homogeneidad μ_{ENi} ofrece muy poca información.

En cuanto al error no detectado ∇_{0i} en el observable de orden i afectaría a la variable dx_{V2} según los valores de la tabla siguiente:

Comprobaciones de Fiabilidad Externa de la red.

Vectores de fiabilidad externa

Observable	error en dx_{V2} (mm)
1	0.18
2	0.26
3	0.15
4	0.65
5	0.24
6	3.76

El peor de los casos sería el que hiciera simultáneos todos los errores de la tabla anterior, y en ese caso, la composición cuadrática de todos ellos alcanzaría el valor de 3,84 mm.

4.5.5.10. COMPROBACIÓN DE LOS OBSERVABLES: FIABILIDAD EXTERNA DE LA SUBRED Y

El error no detectado ∇_{0i} en el observable de orden i afectaría a la variable dy_{V2} según los valores de la tabla siguiente:

Comprobaciones de Fiabilidad Externa de la red.

Vectores de fiabilidad externa

Observable	error en dy_{V2} (mm)
1	1.11
2	0.70
3	5.58
4	0.38

Estudiando la peor situación que nos podemos encontrar, es decir que se dieran simultáneos todos los errores de la tabla anterior, y en ese caso, la composición cuadrática de todos ellos alcanzaría el valor de 5,74 mm.

Parece que la precisión en la determinación del vértice V2 es claramente milimétrica. Si el resultado es satisfactorio o no, es cuestión de la tolerancia preestablecida, pero hay que tener en cuenta que éstos son los valores que realmente se pueden esperar en una observación GNSS.

4.5.5.11. SEMIEJES DE LA ELIPSE STANDARD Y ELIPSES ASOCIADAS A LA CURVAS PEDALES DE LAS SUBREDES X E Y.

Subred X

Conocida la matriz $S = (A^T P A)$

Matriz S = 15.310

Y conocida la desviación típica del observable de peso unidad $\sigma_0 = 3,52 \cdot 10^{-3}$ m, podemos calcular, según teoría conocida⁸⁸, los **semiejes de la elipse standard de error**.

En primer lugar obtendremos los autovalores de la matriz S:

autovalores de S = 15.310

Y en segundo y último lugar calcularemos los semiejes genéricos, según la ecuación:

$$\Phi_i = \sigma_0 \cdot \sqrt{\mu_i^{-1}}$$

que, en este caso, será uno de ellos:

$$\Phi_X = 8,996 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Subred Y

Partiendo de la matriz $S = (A^T P A)$

Matriz S = 6.850

⁸⁸ Cfr. M. CHUECA ET. ALT. "Tratado de Topografía" Tomo III, pag. 273 y siguientes.

Y conocida la desviación típica del observable de peso unidad $\sigma_0 = 3,46 \cdot 10^{-3}$ m, podemos calcular, según teoría conocida, los **semiejes de la elipse estandar de error**.

En primer lugar obtendremos los autovalores de la matriz S:

autovalores de S = 6.850

Y en segundo y último lugar calcularemos los semiejes genéricos, según la ecuación:

$$\Phi_i = \sigma_0 \cdot \sqrt{\mu_i^{-1}}$$

que, en este caso, será uno de ellos:

$$\Phi_Y = 1,322 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

En cuanto a los **semiejes de la elipse asociada a la curva pedal**, se puede demostrar⁸⁹ que la elipse asociada a la podaria será de la forma:

$$ES \equiv \sigma_x^2 \cdot y^2 - 2\sigma_{xy} \cdot x \cdot y + \sigma_y^2 \cdot x^2 = (\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2 - \sigma_{xy})$$

Elipse genérica estandar de incertidumbre a posteriori en coordenadas cartesianas para un punto compensado cualquiera de la red, en este caso el vértice V_2 , en función de su matriz varianza covarianza σ_{xxV2} , referida al sistema de ejes locales con origen en V_2 y paralelos a los del levantamiento OXY.

A partir de la matriz varianza covarianza de las variables o parámetros de la red GNSS local, obtenemos de la subred X:

$$\sigma_x^2 = 0,00000081 \text{ m}^2$$

⁸⁹ Cfr. capítulo 6 del artículo “Progreso en la práctica del ajuste gaussiano de una red local:...”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ ET ALT.

Y a partir de la matriz varianza covarianza de las variables o parámetros de la red GNSS local, obtenemos de la subred Y:

$$\sigma_y^2 = 0,00000174 \text{ m}^2$$

Obteniendo los semiejes de la elipse asociada a la podaria

$$a = 0,9 \text{ mm.}$$

$$b = 1,32 \text{ mm.}$$

4.5.5.12. PROBABILIDADES DE ERROR ASOCIADAS A LAS FIGURAS DE ERROR

Una primera reflexión se plantea sobre la impropia denominación tradicional de la elipse ES como figura de error “estandard”. En efecto, el recinto que corresponde a esa denominación, de probabilidad constante, es el delimitado por la podaria. Es más, la probabilidad asociada a la elipse mal llamada estandard es variable en cada caso. No obstante, se sigue denominándola así, bien entendido lo que antecede.

Por otra parte es claro que podaria y elipse sólo dependen de σ_{xxV2} . Es preciso preguntarse qué papel desempeñan el resto de las covarianzas de la matriz σ_{xx} correspondientes a pares de coordenadas de distintos puntos de la red. Pero en el supuesto presente sólo tenemos un vértice libre y no es caso de estudio presente.

Sin embargo, sí puede estimarse la probabilidad asociada a la elipse estandard, según se ha definido y aceptado. Bastará con calcular la relación existente entre las áreas delimitadas por las dos superficies de error, en su caso más general.

Conocida el área de la podaria y el área de la elipse se puede estimar en primera aproximación y sin exigencias de rigor teórico la probabilidad asociada a la elipse a partir de la probabilidad conocida de la podaria.

Siendo la probabilidad de la podaria $1 \cdot \sigma^2$ (una varianza) $\langle \rangle \pm 1 \cdot \sigma$ (una desviación típica), $\langle 0,68 \rangle$, y la probabilidad de la elipse asociada a $K^2 \cdot \sigma^2$ (varianzas) $\langle \rangle \pm K \cdot \sigma$ (desviaciones típicas) con:

$$K^2 = \frac{A_E}{A_P} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a^2 + b^2} = \frac{2,37}{2,55} = 0,9309$$

$$K = \pm 0,9648$$

$$Prob ES \langle \rangle \pm \sqrt{\left(\frac{2 \cdot a \cdot b}{a^2 + b^2} \cdot \sigma^2\right)} = \pm K \cdot \sigma = 0,9648 \cdot 0,68 =$$

0,6561 *desviaciones típicas*

Así en la red GNSS local:

A la elipse asociada a la curva pedal de semiejes mayor y menor:

$$a = 0,9mm.$$

$$b = 1,32mm.$$

se asocia una fiabilidad del $65,61\% = 65,1\%$.

Una homotecia de razón adecuada según rutina de la distribución normal practicada a la figura descrita genera el recinto de incertidumbre con la probabilidad que se precise.

Si en la tabla de la integral de Gauss⁹⁰ buscamos la abscisa z correspondiente a un área de $I = 0,99$ obtenemos :

$$z_t = \pm 2,326$$

y si se recuerda que el área de error de la elipse correspondía a:

$$z_a = \pm 0,651$$

resulta

$$\frac{z_t}{z_a} = \frac{2,326}{0,651} = 3,573 \cong 4$$

⁹⁰ “Tratado de Topografía” Tomo I, Manuel CHUECA ET ALT., páginas 23 y 24. Editorial Paraninfo. Madrid, 1996.

Multiplicaremos por 4 los semiejes de la elipse standard para conseguir el área de error de probabilidad 99%:

$$4 \cdot a = 3,6 \text{ mm.}$$

$$4 \cdot b = 5,28 \text{ mm.}$$

4.5.5.13. ERROR O PERTURBACIÓN DB DE LAS SUBREDES X E Y.

Siguiendo el mismo método de cálculo que en casos anteriores ya conocidos⁹¹, obtenemos los errores debidos al db.

En la subred X

$$\frac{\|dx\|}{\|x\|} = 0,4404 \text{ , error relativo de un 44\% sobre las variables: } dx_{V_2} = -1,11 \text{ mm.}$$

En la subred Y

$$\frac{\|dy\|}{\|y\|} = 0,4769 \text{ , error relativo de un 48\% sobre las variables: } dy_{V_2} = -1,59 \text{ mm.}$$

4.5.5.14. RESULTADOS FINALES DE LA RED GNSS LOCAL COMPENSADA POR EL MÉTODO DE INCREMENTOS PARCIALES.

El vértice V_2 se ha determinado con una fiabilidad del 99% según un recinto de error definido por una elipse estándar asociada a una podaria (con semiejes: 3,6 mm. y 5,28 mm.) de centro el vértice V_2 .

Existe el riesgo añadido de que cálculos y redondeos den lugar a un error relativo máximo adicional en coordenadas de un 48% sobre las variables calculadas:

$$dx_{V_2} = -1,11 \text{ mm} \text{ y } dy_{V_2} = -1,59 \text{ mm}$$

⁹¹ Cfr. Epígrafe 3.1.17. “Ajuste Gaussiano de redes por el método de incrementos de coordenadas”, de M^a Jesús JIMÉNEZ MARTÍNEZ, N. QUESADA OLMO ET ALT.

La solución de la red GNSS local será:

$$X_{V2c} = X_{V2} + dx_{V2} = 163,01455 - 0,00111 = 163,01344 \text{ m.} \cong 163,013 \text{ m.}$$

$$Y_{V2c} = Y_{V2} + dy_{V2} = 154,2486 - 0,00159 = 154,24701 \text{ m.} \cong 154,247 \text{ m.}$$

Y tendrá un recinto de error elipsoidal, con 0,99 de fiabilidad, de semiejes:

$$a = \text{semieje mayor} \cdot (1 + 0,48) = 1,32 \cdot 1,48 = 1,9 \text{ mm.}$$

$$b = \text{semieje menor} \cdot (1 + 0,48) = 0,9 \cdot 1,48 = 1,3 \text{ mm.}$$

4.6. CONCLUSIONES.

4.6.1. EL OBSERVABLE DE PESO UNIDAD. CUMPLIMIENTO DEL TEST FISHER-SNEDECOR.

Consideramos que el valor de la varianza del observable de peso unidad σ_0^2 que más se ajusta a su valor real es el de la mediana muestral⁹² de los valores de $\hat{\sigma}_{0i}^2$, obtenidos en campo.

A partir de la ecuación:

$$\hat{\sigma}_{0i}^2 = \frac{\Sigma(O_{Ti} - O_i)^2}{m_i - 1}$$

calculamos $\hat{\sigma}_{0i}^2$ para cada observable de nuestra red.

De entre los valores $\hat{\sigma}_{0i}^2$ seleccionamos la mediana, y desde este momento la mediana se convierte en la varianza del observable de peso unidad σ_0^2 a priori. En la curva normal teórica mediana y media coinciden. En nuestros cálculos deberán ser muy próximas si las distribuciones muestrales son representativas. **Cuanto más se asemejen**

⁹² También podría utilizarse en lugar de la varianza muestral: $\hat{\sigma}_{0i}^2 = \frac{\Sigma(O_{Ti} - O_i)^2}{m_i - 1}$, la varianza poblacional $\sigma_{oTi}^2 = \frac{\sigma_{0i}^2}{m_i}$. Estadísticamente ambos estimadores son correctos.

entre sí la mediana y la media de las varianzas a priori $\hat{\sigma}_{0i}^2$ de los observables de la red, mejor y más fiables serán los resultados y su interpretación.

Como idea básica está claro que cualquier hipótesis a priori que se haya aceptado debe ser contrastada a posteriori. Y como nunca sucederá exactamente lo previsto será preciso interpretar las discrepancias y cifrar en términos de probabilidad la fiabilidad del resultado. Así compararemos la varianza del observable de peso unidad a priori y a posteriori, y será necesario que se cumpla el F-Test, bajo la hipótesis nula $H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_{0i}^2$.

Si nuestros estimadores del observable de peso unidad a priori y a posteriori pasan el test estamos seguros de que no se ha rechazado una red aceptable⁹³, los estimadores a priori y a posteriori son compatibles estadísticamente y significa que la ponderación efectuada es homogénea, realista y representativa de la realidad física. Esto será menos cierto cuanto más dispares sean los estimadores a priori y a posteriori. Eso no quiere decir que baste con ello siendo riguroso para aceptar el ajuste. Una cosa es no rechazar, otra muy distinta, aceptar.

La varianza del observable de peso unidad a posteriori responde a la ecuación:

$$\sigma_0^2 = \sigma_{01}^2 = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m - n} = \frac{1}{m - n} \cdot \sum_{i=1}^{i=m} p_i \cdot R_i^2$$

siendo p_i pesos a priori y R_i residuos a posteriori

Una vez conocido a partir de los datos de campo las varianzas de cada observable del ajuste seleccionamos de entre todas ellas el valor de la mediana, según ya se dijo, como la varianza del observable de peso unidad a priori, que sabemos proviene de:

$$\hat{\sigma}_{0i}^2 = \sigma_{02}^2 = \frac{\Sigma(O_{Ti} - O_i)^2}{m_i - 1} = \frac{\Sigma(\rho)^2}{m_i - 1}$$

⁹³ Lo que se conoce como error estadístico de primer orden. Ojalá pudiéramos estudiarlo bajo la hipótesis alternativa $H_1: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_{0i}^2$. Pero no sabemos como...

siendo ρ los residuos a priori

y que una vez determinada será el estimador a priori σ_{02}^2 , con esa nomenclatura para poder distinguirlo del estimador a posteriori σ_{01}^2 .

A partir de las ecuación anteriores obtenemos:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{01}^2}{\sigma_{02}^2} \cdot (m - n) &= \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{\sigma_{02}^2} \cdot p_i \cdot R_i^2 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{\sigma_{02}^2} \cdot \frac{\sigma_{02}^2}{\sigma_i^2} \cdot R_i^2 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{\sigma_i^2} \cdot R_i^2 \\ &= \sum_{i=1}^{i=m} \left(\frac{R_i}{\sigma_i} \right)^2 = (\chi^2)_{m-n} \end{aligned}$$

Cuanto más se parezcan $\sum_{i=1}^{i=m} (R_i^2)$ y $\sum_{i=1}^{i=m} (\sigma_i^2)$ más se aproximarán los valores σ_{01}^2 y σ_{02}^2 , y mayor fiabilidad tendrá nuestro ajuste. Que es lo mismo que decir que un residuo cualquiera a posteriori cumpla $R_i \sim N(0, \sigma_i^2)$, siendo σ_i^2 la varianza a priori del observable del que proviene. Sabemos que el peso p_i es función de la varianza σ_i^2 .

En el ejemplo la red de observables GNSS resuelta por incrementos destaca la similitud de los estimadores a priori y a posteriori en ambas subredes:

- **subred X**

El estimador de la desviación típica a priori del observable de peso unidad es σ_{02}^2 $4,09 \cdot 10^{-3}$ m. y el estimador de la desviación típica a posteriori es σ_{01}^2 $3,52 \cdot 10^{-3}$ m.

- **subred Y**

El estimador de la desviación típica a priori del observable de peso unidad es σ_{02}^2 $4,67 \cdot 10^{-3}$ m. y el estimador de la desviación típica a posteriori es σ_{01}^2 $3,46 \cdot 10^{-3}$ m.

Pero no es suficiente para aceptar la red pasar el F-test porque existe el riesgo de aceptar una red rechazable⁹⁴. No se conoce hasta ahora el test definitivo y es preciso tomar cuantas precauciones adicionales se puedan y sepan. Parece razonable que haya que pasar más filtros (fiabilidad interna y externa de la red, recintos de error con probabilidades asociadas...).

Por último insistir en que si el estimador de la varianza de peso unidad a priori proviene de las varianzas de los observables aceptados, que forman parte del ajuste, mejora indudablemente la predicción de la varianza a posteriori⁹⁵ del observable de peso unidad. Se entiende que los residuos calculados y ajustados tengan la desviación típica asignada desde un comienzo a los observables sin ajustar.

No se olvide que la varianza a posteriori del observable de la medida de peso unidad es un parámetro fundamental porque además multiplica a las matrices de criterio, matrices básicas en la interpretación de los resultados.

4.6.2. LA PRECAUCIÓN DE HOMOGENEIZAR LOS PESOS.

Conseguiremos el objetivo primordial del ajuste mínimo cuadrático (interpretar y predecir resultados) siempre que logremos una ponderación homogénea y representativa de la realidad física. Sin descompensaciones producidas por pesos enormes y muy pequeños simultánea y comparativamente.

La solución de la red es la que minimiza la suma de las correcciones ponderadas al cuadrado y se expresa según el algoritmo:

⁹⁴ Error estadístico de segundo orden.

⁹⁵ La varianza del observable de peso unidad a posteriori en su caso más general es: $\sigma_o^2 = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-R(A)} = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-R(S)}$, y en el caso determinista que nos ocupa es $\sigma_o^2 = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-n}$.

$$R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$$

siendo evidente que la matriz de pesos es determinante en la solución del ajuste y en todos los resultados.

La matriz P afecta al sistema de formas lineales, así, pesos muy pequeños anulan la influencia de los observables, hasta hacer inútil su inclusión en el ajuste o hacer inútil la aplicación del método, que puede ser redundante sólo en teoría. Los observables de peso muy grande serán siempre los que determinen el resultado del ajuste.

Para que la compensación sea homogénea es necesario conseguir que el cuadrilátero de ponderación se parezca, en cualquier caso, a un cuadrado.

La factorización de la matriz completa de pesos P a priori, situación habitual en una red GNSS, será según expresión:

$$R^T \cdot P \cdot R = R^T \cdot \Gamma \cdot V \cdot \Gamma^T \cdot R = (\Gamma^T \cdot R)^T \cdot V \cdot (\Gamma^T \cdot R) = R'^T \cdot V \cdot R'$$

siendo las matrices de autovectores y autovalores de P: Γ y V

la factorización de P puede aniquilar la homogeneidad de los pesos y además, y como se ha demostrado, el resultado del ajuste no es solución Gauss-Marcov por no pertenecer a su lugar geométrico, lo que no implica obtener un resultado desfavorable o absurdo de las correcciones a las coordenadas aproximadas obtenidas en el ajuste, pero sí implica error teórico de concepto y el nulo o escaso poder de afirmación de la interpretación del algoritmo.

No es posible, en general, aplicar Gauss-Marcov con matrices de pesos completas ni resolver la aparición de covarianzas mediante una rotación, derivada o no de factorización

previa. La solución Gauss-Marcov es rigurosamente incompatible con las covarianzas estudiadas aparecidas a priori o inducidas, que siempre pueden explicarse a través de una rotación directa genérica de matriz Γ^T o Γ'^T , o una rotación inversa Γ o Γ' , del n-edro coordinado. Se resuelve rigurosamente el problema modificando los observables, en especial los GNSS aplicando el ajuste por incrementos de coordenadas.

4.6.3. SÍNTESIS FINAL

En resumen el método de ajuste mínimo cuadrático Gauss-Marcov avanzado que se desarrolla y propone:

- No pretende mejorar el trabajo de campo. Sí la interpretación de resultados.
- A este efecto es necesario que en la observación se tome el número suficiente de observables para poder seleccionar el número que interese en el proyecto.

El número de observables n se sabe que afecta directamente a la varianza del observable (y ésta, a su vez, al peso), al estudio de la normalidad del observable y también al error o perturbación db .

- Es preciso conseguir que los observables del ajuste sean variables aleatorias independientes normales. Es necesario que superen el test de normalidad, en nuestro caso el test de adherencia de Pearson como más adecuado.

- Los pesos deben ser homogéneos.

- Es imprescindible que la varianza del observable de peso unidad a priori y a posteriori superen el test de Fisher-Snedecor. Si se utiliza el método de incrementos de coordenadas, éste puede ayudar a lograr este propósito, estudiar los valores de los residuos del ajuste doble de incrementos de coordenadas, y en función de ellos, decidir qué observables formarán parte de cada uno de los sistemas de ecuaciones, ya que en el caso

determinista la varianza del observable de peso unidad a posteriori es función de los residuos

R , siendo $\sigma_0^2 = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-n}$.

- Se deben tomar otras precauciones como son: el estudio de la fiabilidad interna y externa de la red, el análisis de las figuras de error con fiabilidades asociadas, y la estimación de los errores de cálculo.

- Así las cosas, los métodos de ajuste gaussiano de incrementos de coordenadas se pueden aplicar con todo rigor a observables GNSS siempre que se cumplan las exigencias previas y el protocolo establecido.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES.

5.1. EN TORNO A LA APLICACIÓN DDBASE DEL PROYECTO GPSTOOLKIT EN UNA RED DE LINEAS BASE LARGAS.

La aplicación DDBase del proyecto GPSTk resulta muy interesante en la faceta que tiene como software libre, en continuo desarrollo y que puede funcionar bajo cualquier plataforma. Además de que su manejo y ejecución no son especialmente complicados, sobre todo en los casos más habituales, ya que los valores por defecto de los comandos en general son los que mejor funcionan. Aún así permite cierta personalización del trabajo a ejecutar por la multitud de funcionalidades que incorpora.

También se ha podido verificar que, efectivamente, en líneas base más largas de unos pocos kilómetros no está suficientemente contrastado.

Para empezar con las conclusiones y con el objeto de obtener una visión en su conjunto se han recuperado los resultados y conclusiones que presenté en el Trabajo de investigación.

El mejor posicionamiento que se ha obtenido ha sido en la línea base VALE-VCIA⁹⁶, con una longitud aproximada de 5Km, y en este caso la dificultad que se ha encontrado ha sido la diferencia de altura de las antenas de ambas estaciones de referencia. La aplicación DDBase no tiene en cuenta la altura de las antenas de los receptores, independientemente de que estas aparezcan en el mensaje de navegación. Esta dificultad fue subsanada ya que se ha realizado una transformación⁹⁷ de las coordenadas del ARP (Antenna Reference Point) de la

⁹⁶ El tratamiento de las líneas base: VCIA-VALE, VCIA-DENI, VCIA-DENI-BORR se ha estudiado exhaustivamente en el Trabajo de Investigación realizado por el mismo autor de este trabajo.

⁹⁷ Cfr.Epigrafe 4.2.Descripción del proceso de cálculo. Se ha de aplicar la expresión siguiente:

antena, que se encuentra en un sistema de referencia topográfico (N,E,U) al sistema de coordenadas cartesianas geocéntricas. Al tratarse de una base corta, el problema mencionado con anterioridad, no tuvo gran influencia en el resultado final, pues tal y como es recomendable, se procesó mediante la utilización de la frecuencia L1 para poder fijar ambigüedades.

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
VALE	X	4929536,404133	X	4929536,3916	dX	0,0125
	Y	-29050,68999	Y	-29050,6898	dY	0,00039
	Z	4033711,848946	Z	4033711,8573	dZ	-0,008314
Línea base estimada VCIA – VALE 5038,1186m.					0,0150m	

En cambio para la línea base de VCIA-DENI⁹⁸, cuya longitud es de 77Km aproximadamente y se puede considerar como larga, también se obtiene un resultado relativo aceptable, siendo procesado el cálculo con la frecuencia L3 que es la recomendada para este tipo de líneas base. La bondad del posicionamiento se debe, en gran medida, a que las antenas de ambas estaciones tienen idéntica altura, además de ser el mismo tipo de antena, y se encuentran a una altitud ortométrica muy similar.

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
DENI	X	4974895,96515	X	4974895,95079	dX	0,01436
	Y	9000,74537	Y	9000,75311	dY	-0,00773
	Z	3978089,73800	Z	3978089,73117	dZ	0,00683
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8119m.					0,01768m	

$$\begin{pmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ Z_{ij} \end{pmatrix} = R(\varphi_i, \lambda_i) \cdot \begin{pmatrix} E_{ij} \\ N_{ij} \\ U_{ij} \end{pmatrix}$$

donde

$$R(\varphi_i, \lambda_i) = \begin{pmatrix} -\text{sen}\lambda_i & -\text{sen}\varphi_i \cos\lambda_i & \cos\varphi_i \cos\lambda_i \\ \cos\lambda_i & -\text{sen}\varphi_i \text{sen}\lambda_i & \cos\varphi_i \text{sen}\lambda_i \\ 0 & \cos\varphi_i & \text{sen}\varphi_i \end{pmatrix}$$

⁹⁸ y ⁹⁹ El tratamiento de las líneas base: VCIA-VALE, VCIA-DENI, VCIA-DENI-BORR se ha estudiado exhaustivamente en el Trabajo de Investigación realizado por el mismo autor de este trabajo.

En el cálculo de la red compuesta por 3 estaciones VCIA-BORR-DENI⁹⁹ tenemos que considerar en primer lugar que, cuando introducimos en el procesamiento de las líneas base otro vértice de la red es razonable que el posicionamiento conjunto de dichos vértices tenga una pequeña variación con respecto a la posición que se obtiene considerando la línea base de manera individual. Así, esta variación en la posición de los vértices puede hacer que el posicionamiento final sea distinto al obtenido con anterioridad. Y en segundo lugar que, al procesar la línea base con la frecuencia L3 la posición de DENI es muy similar al caso tratado con anterioridad, pero para BORR obtenemos más error en su posicionamiento. En este caso, aunque se pueden considerar que son líneas base largas se ha empleado la frecuencia L1 para fijar ambigüedades, de manera que mejora aceptablemente el error relativo en la estación BORR (distancia aproximada a VCIA 56Km.) y empeora considerablemente en la estación de DENI (distancia aproximada a VCIA 77Km.), debido a que la línea base es bastante más larga.

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
DENI	X	4974895,88455	X	4974895,95079	dX	-0,06624
	Y	9000,76347	Y	9000,75311	dY	0,01036
	Z	3978089,72706	Z	3978089,73117	dZ	-0,00411
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,7842m.					0,06717 m.	
BORR	X	4899519,41665	X	4899519,39976	dX	0,01689
	Y	-7115,83126	Y	-7115,81745	dY	0,01381
	Z	4069961,46966	Z	4069961,49248	dZ	-0,02282
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,4848m.					0,03157 m.	

Intentando alcanzar mayores pretensiones se amplian el número de vértices a posicionar, así como su distancia y diversidad en la tipología de las antenas de recepción, por ello se considera la red ERVA, de manera que en el posicionamiento de las líneas base intervienen más parámetros a considerar. Y, teniendo en cuenta lo comentado con

anterioridad, se puede ver como estaciones que tenían un resultado aceptable empeoran dicho valor en la mayoría de los casos.

Para la red ERVA, y en general para cualquier red que tenga diferencias acusadas de altitud ortométrica entre sus diversas estaciones se necesita aplicar la funcionalidad disponible Residual tropospheric Zenit Delay, RZD. En casos anteriores no es justificable esta corrección, pues la altitud ortométrica de los vértices que se habían procesado eran bastante similares, ya que DENI, VCIA y BORR tienen respectivamente 69,67m, 62,95m y 72,90m.

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
ALCO	X	4984687,23640	X	4984687,46638	dX	-0,22998
	Y	-41199,12979	Y	-41199,1557	dY	-0,02591
	Z	3966605,81087	Z	3966605,97668	dZ	-0,16581
Línea base estimada VCIA – ALCO 82670,4661m.					0,28470 m.	
AYOR	X	4958705,50612	X	4958705,6715	dX	-0,16538
	Y	-91680,71270	Y	-91680,7603	dY	-0,04759
	Z	3998023,47373	Z	3998023,6184	dZ	-0,14467
Línea base estimada VCIA – AYOR 74438,0903m.					0,22482 m.	
BORR	X	4899519,38562	X	4899519,39976	dX	-0,01414
	Y	-7115,84492	Y	-7115,81745	dY	0,02747
	Z	4069961,45979	Z	4069961,49248	dZ	-0,03269
Línea base estimada VCIA – BORR 56721,4905m.					0,04498 m.	
DENI	X	4974895,93385	X	4974895,95079	dX	-0,01693
	Y	9000,75850	Y	9000,75311	dY	0,00539
	Z	3978089,73686	Z	3978089,73117	dZ	0,00569
Línea base estimada VCIA – DENI 77124,8022m.					0,01866 m.	
MORE	X	4849098,58767	X	4849098,83358	dX	-0,24591
	Y	-8595,43636	Y	-8595,418861	dY	0,01750
	Z	4130985,58542	Z	4130985,8777	dZ	-0,29224
Línea base estimada VCIA – MORE 132902,4027m.					0,38234 m.	
TORR	X	5033805,42192	X	5033805,3830	dX	0,03892
	Y	-59823,04333	Y	-59823,0840	dY	-0,04067
	Z	3903319,59268	Z	3903319,5170	dZ	0,07568
Línea base estimada VCIA – TORR 164743,1963m.					0,09432 m.	
UTIE	X	4922873,09467	X	4922873,2949	dX	-0,20003
	Y	-103857,69881	Y	-103857,719819	dY	0,02101
	Z	4041693,55717	Z	4041693,76577	dZ	-0,20860
Línea base estimada VCIA – UTIE 75831,0526m.					0,28991 m.	

La estación de MORE tiene una altitud de 1037,55m, UTIE se encuentra a 799,70m y las estaciones de ALCO y AYOR están a 640,10m y 661,82m respectivamente. Debido a

esta diferencia de altitud ortométrica, el retardo troposférico influye muy negativamente en el resultado final incluso en mayor cuantía que el debido a que la distancia de la línea base sea larga, por tanto se recomienda hacer uso de esta corrección.

En relación a esta suposición se expone el resultado del procesamiento de una línea base de similar altitud ortométrica:

- ALCO-AYOR que tiene una longitud de la línea base de 65 kilómetros, y como se podía esperar, el resultado mejora disminuyendo el error en el posicionamiento.

	Posición estimada del ARP con DDBase		Coordenadas geocéntricas cartesianas ETRS89 del ARP			
AYOR	X	4958705,69875	X	4958705,6715	dX	0,02725
	Y	-91680,74392	Y	-91680,7603	dY	-0,01638
	Z	3998023,60377	Z	3998023,6184	dZ	-0,01502
Línea base estimada ALCO – AYOOR 64888,4450m.						0,03516m

Se puede llegar a concluir, según se ha contrastado, que la aplicación DDBase no está totalmente validada con garantías de precisión en líneas base largas (superiores a 5 Kilómetros), tal y como se afirma también el artículo: “Measuring Mach 8: sub-milimeter Survey System”¹⁰⁰ publicado el 1 de Junio de 2007 en la revista GPSWorld. También en la documentación de GPSTK relativa a DDBase, concretamente en DDBase Command Reference¹⁰¹, se vuelve a realizar la misma apreciación respecto a líneas bases de varios kilómetros.

Aún así, resulta una aplicación de uso común para posicionamiento GPS bastante interesante pues permite la incursión en el proyecto GPS Toolkit del que forma parte. Tanto es así que el código fuente de DDBase implementa varias funciones críticas en términos de clases de la librería de GPSTk.

¹⁰⁰ J.CLARK HUGHES, Joel A. BANKS, Aaron J. KERKHOFF, Brian W. TOLMAN, Rex E. ELLISON. “Measuring Mach 8: sub-milimeter Survey System”. June 1, 2007. GPSWorld.

¹⁰¹ DDBase Command Reference en gpstk/branches/rinex3_dev/apps/geomatics/relposition/doc.

5.1.1. A CERCA DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS.

No obstante, admitidas las conclusiones anteriores, se quiso profundizar en el análisis y justificación de resultados obtenidos en relación a las líneas base procesadas en la Red EVRA, y mediante la funcionalidad que dispone la aplicación DDBase que permite la obtención de residuos de las dobles diferencias procesadas en el cálculo se estudiaron dichos parámetros a través de unas gráficas elaboradas mediante la aplicación gnuplot.

Las gráficas de análisis de los residuos de las dobles diferencias procesadas deberían ser relativamente planas y deben fluctuar según un rango de valores pequeños para obtener un buen procesamiento del vector final de la línea base en estudio. Aún así, estos residuos siempre estarán en consonancia con el resultado final del posicionamiento del vector. Se puede suponer ruido¹⁰², e incluso efecto multipath, en las observaciones cuando éstos crecen exponencialmente y se separan del rango de valores entre los cuales oscilan la mayoría de ellos.

- **Red ERVA**

Con el procesamiento de todas las estaciones de la red en conjunto y estableciendo como fija la estación VCIA, se obtuvieron las gráficas de las correspondientes las líneas base, y se puede concluir lo siguiente para cada una de ellas:

- **Línea base VCIA-ALCO**

Destacan durante las primeras horas del procesamiento residuos con valores bastante importantes llegando hasta 30cm., aunque la mayoría oscilan en un rango de valores de [-5cm., 5cm.]. En cambio a partir de las 12:00h el rango en el que se mueven la mayoría de estos residuos se estrecha más siendo éste [-3cm., 3cm.] y los valores máximos alcanzan ahora 12cm. En general, existe poco tiempo de procesamiento en que se solapen ó se obtengan datos de más de

¹⁰² Cfr. Michael RIGBY 16 de Noviembre de 2007 y Brian TOLMAN 26 de Noviembre de 2007: “Ask a questions” en <http://www.gpskit.org/>

una parejas de dobles diferencias. Todo ello concuerda con una desviación en el resultado final del posicionamiento del vector de 28,5cm.

- **Línea base VCIA-AYOR**

Los valores de la mayoría de los residuos son muy similares en todo el tiempo de observación oscilan en un rango de valores de [-3cm., 3cm.], teniendo un máximo de 9cm. Como en el vector anterior, se destaca la poca coincidencia de más de una pareja de dobles diferencias a lo largo de toda la observación, además de intervalos en los que no se han resuelto ningún tipo de dobles diferencias, lo que conlleva un peor posicionamiento con un resultado de 22,5cm.

- **Línea base VCIA-BORR**

En este caso, el resultado final en el posicionamiento del vector mejora notablemente con 45mm, ello se refleja en las gráficas de los residuos de las dobles diferencias procesadas. Durante las primeras 12 horas el rango de los valores obtenidos para los residuos oscila entre [-2cm., 2cm.] disminuyendo en las horas siguientes hasta situarse en [-1,5cm., 1cm.]. Destacar que ahora sí que existe un número más adecuado de dobles diferencias que se procesan simultáneamente en el tiempo de observación.

- **Línea base VCIA-DENI**

Los residuos tienen valores considerablemente pequeños a lo largo del período de observación, comienzan en un rango de valores que oscilan entre [-1,5cm., 1,5cm.] para llegar a [-1cm., 2cm.]. Con estos valores se consigue un posicionamiento en el vector de 19mm.

- **Línea base VCIA-MORE**

Este caso es el que peor posicionamiento obtiene en toda la red, con unas discrepancias en el vector final de 38,2cm. En las primeras 12 horas de

observación los valores de los residuos pueden resultar aceptables oscilando la mayoría en un rango de [-2cm., 2cm.] hasta alcanzar en las 12 horas siguientes valores de [-4cm., 3cm.]. Encontramos que existen parejas de satélites utilizadas en la diferenciación de fase con unos valores residuales en el cálculo de dobles diferencias que crecen exponencialmente desde -14cm. hasta 19 cm.

En general, hay que destacar que además existe muy poco tiempo de procesamiento en que se solapan ó se obtengan datos de más de una parejas de dobles diferencias, encontrando intervalos de tiempo en el cual no existe procesamiento de dobles diferencias.

- **Línea base VCIA-TORR**

En las primeras horas de observación existen bastantes dobles diferencias que han sido procesadas con éxito y además solapan en el tiempo. Se obtienen unos residuos que oscilan entre un rango de valores de [-2cm., 2cm.], alcanzando unos máximos en 6cm y -4cm. A continuación no obtenemos valores del procesamiento de dobles diferencias y además se aprecia una menor coincidencia en el procesamiento de dobles diferencias con el correspondiente crecimiento de los valores máximos residuales. No obstante, el posicionamiento final se obtiene, en concordancia, con 94mm.

- **Línea base VCIA-UTIE**

En esta línea base no se han podido procesar dobles diferencias en la 1ª parte de la observación, y en el resto del período de observación existen muy pocos solapes de datos procesados, de ahí que el vector se haya posicionado con un resultado final de 28,9cm. Los valores de los residuos en las primeras horas oscilan en un rango de valores de [-2cm., 2cm.] aumentando progresivamente algunos de ellos hasta 11cm. e incluso 19cm. Posteriormente los valores

residuales de las dobles diferencias siguen en incrementándose situándose en [-1cm., 5cm.] hasta llegar a valores de [-7cm., 12cm.].

- **Red ERVA: línea base ALCO-AYOR**

Al realizar el posicionamiento considerando estas 2 estaciones de altitud ortométrica similar, éste mejora considerablemente y ello se observa directamente en los residuos de las dobles diferencias procesadas.

Estos residuos presentan unos valores aceptables obteniéndose como valor medio de la mayoría de ellos entre [-2cm., 2cm.]. Posteriormente en la 2ª parte de la observación el número de dobles diferencias procesadas se incrementa de manera considerable pero el valor medio de los residuos no aumenta.

Aunque la aplicación en líneas largas no ha quedado totalmente validada con garantías de precisión, tal y como estaba advertido, se recomienda el uso de la frecuencia L3, combinación de las frecuencias L1 y L2, cuando se prevé que puede tener influencia el retardo ionosférico, y la frecuencia L1, fijando ambigüedades, para líneas bases de pocos kilómetros.

Así, también se puede concluir que el valor absoluto de los residuos, tal y como se ha dicho en un principio, está directamente relacionado las discrepancias que se obtienen en el posicionamiento del vector final procesado. Es obvia la influencia del número de dobles diferencias de fase coincidentes que se pueden procesar en conjunto para obtener una buena solución en el posicionamiento del vector, después del empleo de algoritmos que examinan pérdidas de ciclo, efecto multipath y ruido excesivo.

5.2. LA APLICACIÓN DDBASE DEL PROYECTO GPSTOOLKIT EN UNA RED DE LINEAS BASE CORTAS.

Al acometer la densificación de la Red de Calibración de la Universidad Politécnica de Valencia con un nuevo punto, V_2 , se pretendió contrastar y validar la aplicación DDBase en una red de lados cortos.

Se procede al cálculo de todos los vectores correspondientes a las líneas bases de la red local en estudio. Aunque para realizar la dicha densificación se necesitarían exclusivamente las líneas base $V1V2$, $V2V3$ y $V2V4$, se procesaron todas las existentes con la finalidad de profundizar más en el conocimiento de la aplicación DDBase y para su posible utilización en casos prácticos futuros.

Esta observación se realizó en 2 campañas de observación: 24 de Noviembre de 2010 y 27 de Abril de 2011.

Respecto a la utilización de la aplicación DDBase estas observaciones se procesaron con la frecuencia L1 para poder fijar ambigüedades, tal y como es recomendable en líneas base de poco kilómetros. Además se utilizaron las efemérides precisas obtenidas del International GNSS Service (IGS) y los parámetros de orientación y rotación del Polo pertenecientes a la Agencia Espacial de Inteligencia Geoespacial (NGA).

Ambas observaciones también se procesaron con el programa TTC (Total Trimble Control) versión 2.73 de Trimble para contrastar los resultados obtenidos con la aplicación DDBase. Las discrepancias fueron mínimas, siendo en la 1ª observación la mayor diferencia de 14,77mm. correspondiente al valor del incremento de X de la línea base $V3V4$ aumentando hasta 17,46mm. en la 2ª observación. Éstas se pueden considerar razonables debido a la diferencia de correcciones que aplica DDBase y los parámetros que utiliza cuando procesa los datos procedentes de la observación, respecto a otros software como el TTC.

Con el objeto de tener una mayor veracidad de los resultados obtenidos, las líneas base de la red fueron contrastadas por distanciometría clásica presentando diferencias milimétricas.

Se quiere hacer notar que, dada la configuración de la red local formada por un cuadrilátero cuyo eje Y, es prácticamente coincidente con la dirección que une los vértices V4V1, y el eje X con la dirección que une los vértices V4V3, los errores de posicionamiento, dependiendo de la línea base en estudio, influyen de manera muy distinta en ΔX e ΔY . Aún así en lo que respecta a las líneas base procesadas con el vértice V3, se puede observar que sus resultados son peores, llegando al convencimiento de tener que profundizar un poco más en el análisis de la red local.

5.2.1. A CERCA DE LOS RESIDUOS DE DOBLES DIFERENCIAS.

Para ello DDBase tiene la funcionalidad de permitir el estudio y análisis de los residuos de las dobles diferencias de fase procesadas, mientras que la representación de las gráficas de estos residuos se realizó con la aplicación gnuplot.

Se pueden establecer las siguientes conclusiones con respecto a cada línea base de la red de densificación local:

- **Línea base V1V2.**

En general, en esta línea base se han obtenido buenos resultados al procesar las dobles diferencias, la mayoría de los residuos oscilan dentro de un rango de valores de $[-0,5\text{cm.}, 0,5\text{cm.}]$.

Aún así, se ha considerado oportuno rechazar varios intervalos en el cálculo de los ΔX^{103} de la línea base V1V2, ya que distorsionan en gran medida el valor de la varianza de los observables y se pretende poder garantizar la normalidad de dichas observaciones.

El posicionamiento final del vector, respecto a la distancia calculada según metodología clásica, se ha conseguido con 0,2mm. al procesar la 1ª observación y 2,8mm. en la 2ª observación.

- **Línea base V2V3.**

Con esta línea base se han tenido discrepancias mayores en el procesamiento de las observaciones, ya que en el vértice 3 existen más problemas con la medida de fase que se registra desde los satélites que son observados.

¹⁰³ Debido a la configuración de la red local en esta línea base V1V2, casi la totalidad del error en el posicionamiento del vector se proyecta según el eje X.

En cuanto a las gráficas de los residuos de las dobles diferencias procesadas, éstas son gráficas planas situadas en el entorno de un valor residual destacablemente alto, alcanzando valores máximos para algunos intervalos de tiempo, hasta 9cm. Ello implica una distorsión considerable de la desviación típica y valor medio, por la propia configuración de la red local, en el valor ΔY con lo que se decidió prescindir de algunos valores de ΔY .

Este tipo de gráfica plana de residuos de dobles diferencias entorno a un valor residual constante se debe a un sistematismo que se produce por cada pareja de satélites, haciendo sospechar que se debe a un efecto multipath¹⁰⁴, pues ya que se trata de un efecto geométrico su efecto se repite al repetirse la geometría pareja de satélites-receptor.

Dicho efecto en la 2ª observación es más acusado, de ahí que el posicionamiento final se consiga con unas discrepancias mayores, y muy posiblemente debidas a las fechas en las que tuvo lugar la observación, ya que si bien el vértice está en una zona arbolada, éste en el mes de abril está totalmente cubierto por las hojas de los árboles.

El posicionamiento final del vector V2V3, respecto a la distancia calculada según metodología clásica, se ha conseguido con 13,2mm. al procesar la 1ª observación y 28,3mm. en la 2ª observación.

- **Línea base V2V4.**

Las gráficas que se obtuvieron con los valores de las dobles diferencias procesadas muestran que la mayoría de los residuos oscilan en un rango de valores entre [-0,5cm., 0,5cm.] para casi todos los intervalos.

Los valores máximos pueden llegar a alcanzar 9cm. pero en casos muy puntuales, concretamente a mitad del periodo de observación, en este intervalo la gráfica presenta unos residuos que tienen un aspecto plano entorno a valores prácticamente constantes según la pareja de satélites procesada en las dobles diferencias. Por ello, y debido a la configuración de la red local en la línea base V2V4 se presentan errores de posicionamiento muy parecidos para ambos incrementos ΔX e

¹⁰⁴ HERNÁNDEZ-PAJARES, M. JUAN ZORNOZA, J.M., SANZ SUBIRANA, J. Grupo de Astronomía y Geomática. Session 3a: GPS observables and their combinations. "GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes". Centro de Publicaciones del Campus Norte (CPET). UPC.

ΔY , decidiendo prescindir de algunos valores de este intervalo para asegurar la normalidad de los datos y evitar distorsionar el resultado final del valor medio y desviación típica muestral.

Aunque en general se puede concluir que el posicionamiento final del vector de la línea base V2V4 ha sido excelente, pues se ha conseguido con 3,4mm. al procesar la 1ª observación y 0,1mm. en la 2ª observación.

Después de este estudio se supone contrastada la aplicación DDBase, y se decidió procesar la observación realizada de la red local con dicho software, ya que se han obtenido buenos resultados y, como se ha comentado en los preliminares de GPS¹⁰⁵ y en los principios de funcionamiento de esta aplicación, una gran parte del diseño de esta aplicación implica la edición de dobles diferencias e investigación sobre el efecto multipath de gran influencia en líneas bases cortas.

5.2.2. RESPECTO DE LOS SALTOS DE CICLO Y PÉRDIDA DE SEÑAL.

Retomando los problemas que surgen en el vértice V3, se decidió realizar un estudio más exhaustivo y comparativo de los registros de fase obtenidos en cada vértice que componen la red local.

Por ello se analizaron las posibles pérdidas de ciclo mediante la combinación de fase Melbourne-Wübbena¹⁰⁶ aún siendo consciente de que la detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. Y además sabiendo que la detección se lleva a cabo en DDBase¹⁰⁷ según un algoritmo de corrección basado en los trabajos de Blewitt, utilizando un programa denominado *DiscFix* que procesa los archivos de observación Rinex, escribiendo los datos corregidos en un archivo de salida con formato Rinex. Esto produce que en el procesamiento con la aplicación DDBase, se desestimen muchas dobles diferencias de fase por falta de señal ó pérdidas de ciclo que no pueden ser reparadas.

¹⁰⁵ Cfr. epígrafes 2.2. Preliminares de GPS y 2.3. Principios de funcionamiento de DDBase.

¹⁰⁶ Debido a que la combinación wide-lane $L\delta$ proporciona un observable con una longitud de onda de gran extensión $\lambda\delta = 86,2$ cm (unas cuatro veces superior a la de L1 o L2) hace de ésta muy útil para la detección de saltos de ciclo en la fase. Para detectar los saltos de ciclos se ha utilizado la combinación de *Melbourne-Wübbena* ($W = L\delta - P\delta$):

$$P\delta = \frac{f_1 P1 + f_2 P2}{f_1 + f_2} \quad L\delta = \frac{f_1 L1 - f_2 L2}{f_1 - f_2}$$

¹⁰⁷ Cfr. Epígrafe 1.2.3.2. Pérdidas de ciclo de este documento.

Por todo ello y añadiendo que es conocido que las pérdidas de ciclo suponen un salto en el registro de las medidas de fase producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite, se procedió a dicho análisis mediante la combinación de fase de Melbourne-Wübbena y al posterior estudio de las gráficas de este algoritmo.

- **VÉRTICE 1.**

En la 1ª observación solo se observan saltos de ciclo al final del registro de las medidas de fase del satélite G21, en cambio para la 2ª observación se advierten saltos de ciclo en el registro de las medidas de fase de los satélites G5, G15 y G20 y concretamente para el satélite G5 dichos saltos son constantes durante casi todo el tiempo de observación.

Resulta más inquietante el hecho de que en general sí se advierten intervalos en los que no se registran datos, aunque estos períodos de tiempo no son largos.

- **VÉRTICE 2.**

En este vértice existe un grupo de satélites cuyo registro de medidas de fase es escaso, además de intervalos durante el tiempo de observación que no hay ningún tipo de registro. Éstos son: G3, G18, G22, G25 y G31 para la 1ª observación y para la 2ª observación: G4 y G23.

En la 2ª observación, al igual que en el vértice 1, los satélites que presentan salto de ciclo en el registro de las medidas de fase son: G5, G15 y G20, siendo G5 y G20 los que presentan dichos saltos durante todo el tiempo que registran datos, en cambio en la 1ª observación son los satélites G19 y G21 los únicos que presentan saltos de ciclo en el registro de las medidas de fase.

- **VÉRTICE 3.**

Este vértice presenta muy pocos registro de medidas de fase por parte de la mayoría de los satélites, aunque no se presentan saltos de ciclo en la 1ª campaña de observación. Ello se debe a la ubicación de este vértice en una zona arbolada, que al ser la observación

realizada en el mes de noviembre no da lugar a saltos de ciclo, pero si impide el registro de medidas de fase.

Para la 2ª observación también este vértice presenta muy pocos registros de medidas de fase, aunque dicha observación se ha efectuado con registros cada 3 segundos para favorecer que pueda existir un mayor número de datos. Al realizarse la observación en el mes de abril, en plena primavera, la zona arbolada provoca saltos de ciclo en el registro de la medida de fase además de impedir que el receptor registre continuamente medidas de fase.

Por ello se presentan saltos de ciclo en los satélites: G5, G15 éstos se presentan hacia el final de la observación y G20 que presenta saltos de ciclo al principio de la misma y después ya no presenta más registros.

- **VÉRTICE 4.**

Los satélites G19 y G21 son los únicos que en este vértice, al igual que en el vértice 2, presentan saltos de ciclo en el registro de las medidas de fase durante casi toda la duración de la 1ª observación, siendo el satélite G5 el que tiene dichas discontinuidades en la 2ª observación.

En general, se reciben registros de fase de la mayoría de los satélites en mayor ó menor cuantía durante ambas observaciones.

Se puede concluir, tal y como se sospechaba, que los saltos de ciclos pueden ser causadas, en la red local en estudio, principalmente debido a la obstrucción de la señal emitida desde el satélite por la presencia de árboles en el vértice V3.

No son tan preocupantes dichos saltos de ciclo, ya que la aplicación DDBase tiene la funcionalidad de reparar gran parte de ellos, como la falta de señal que se produce en el vértice V3 por estar ubicado en una zona arbolada y que de forma preocupante aumenta en la 2ª observación que se realiza en primavera.

5.2.3. EN RELACIÓN AL AJUSTE DE LA RED LOCAL POR EL MÉTODO DE INCREMENTOS¹⁰⁸.

A partir de este momento, y después de todo el estudio y análisis de los vectores de las líneas base que precede, disponemos de unos observables aceptables que cumplen las hipótesis de partida exigidas para poder aplicar rigurosamente un ajuste Gauss-Markov.

5.2.3.1. EL OBSERVABLE DE PESO UNIDAD. CUMPLIMIENTO DEL TEST FISHER-SNEDECOR.

Consideramos que el valor de la varianza del observable de peso unidad σ_0^2 que más se ajusta a su valor real es el de la mediana muestral¹⁰⁹ de los valores de $\hat{\sigma}_{0i}^2$, obtenidos en campo.

A partir de la ecuación:

$$\hat{\sigma}_{0i}^2 = \frac{\Sigma(O_{Ti} - O_i)^2}{m_i - 1}$$

calculamos $\hat{\sigma}_{0i}^2$ para cada observable de nuestra red.

De entre los valores $\hat{\sigma}_{0i}^2$ seleccionamos la mediana, y desde este momento la mediana se convierte en la varianza del observable de peso unidad σ_0^2 a priori. En la curva normal teórica mediana y media coinciden. En nuestros cálculos deberán ser muy próximas si las distribuciones muestrales son representativas. **Cuanto más se asemejen entre sí la mediana y la media de las varianzas a priori $\hat{\sigma}_{0i}^2$ de los observables de la red, mejor y más fiables serán los resultados y su interpretación.**

Como idea básica está claro que cualquier hipótesis a priori que se haya aceptado debe ser contrastada a posteriori. Y como nunca sucederá exactamente lo previsto será preciso interpretar las discrepancias y cifrar en términos de probabilidad la fiabilidad del resultado.

¹⁰⁸ JIMÉNEZ MARTÍNEZ, M.J., QUESADA OLMO, N., VILLAR CANO, M., PAREDES ASENCIO, J.M., MARQUÉS MATEU, A. "Ajuste gaussiano de redes por el método de Incrementos de Coordenadas". Real Academia de Cultura Valenciana. Revista Digital: www.racv.es/racv_digital. Valencia 2011

¹⁰⁹ También podría utilizarse en lugar de la varianza muestral: $\hat{\sigma}_{0i}^2 = \frac{\Sigma(O_{Ti} - O_i)^2}{m_i - 1}$, la varianza poblacional $\sigma_{oTi}^2 = \frac{\sigma_{oi}^2}{m_i}$. Estadísticamente ambos estimadores son correctos.

Así compararemos la varianza del observable de peso unidad a priori y a posteriori, y será necesario que se cumpla el F-Test, bajo la hipótesis nula $H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_{0i}^2$

Si nuestros estimadores del observable de peso unidad a priori y a posteriori pasan el test estamos seguros de que no se ha rechazado una red aceptable¹¹⁰, los estimadores a priori y a posteriori son compatibles estadísticamente y significa que la ponderación efectuada es homogénea, realista y representativa de la realidad física. Esto será menos cierto cuanto más dispares sean los estimadores a priori y a posteriori. Eso no quiere decir que baste con ello siendo riguroso para aceptar el ajuste. Una cosa es no rechazar, otra muy distinta, aceptar.

La varianza del observable de peso unidad a posteriori σ_{01}^2 se relaciona directamente con los pesos a priori p_i y los residuos a posteriori R_i , en cambio la varianza del observable de peso unidad a priori σ_{02}^2 , proviene de considerar ρ_i que son los residuos a priori.

Relacionando ambas expresiones obtenemos:

$$\frac{\sigma_{01}^2}{\sigma_{02}^2} \cdot (m - n) = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{\sigma_{02}^2} \cdot p_i \cdot R_i^2 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{\sigma_{02}^2} \cdot \frac{\sigma_{02}^2}{\sigma_i^2} \cdot R_i^2 = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{\sigma_i^2} \cdot R_i^2 = \sum_{i=1}^{i=m} \left(\frac{R_i}{\sigma_i} \right)^2 = (\chi^2)_{m-n}$$

Cuanto más se parezcan $\sum_{i=1}^{i=m} (R_i^2)$ y $\sum_{i=1}^{i=m} (\sigma_i^2)$ más se aproximarán los valores σ_{01}^2 y σ_{02}^2 , y mayor fiabilidad tendrá nuestro ajuste. Que es lo mismo que decir que un residuo cualquiera a posteriori cumpla $R_i \sim N(0, \sigma_i^2)$, siendo σ_i^2 la varianza a priori del observable del que proviene. Sabemos que el peso p_i es función de la varianza σ_i^2 .

¹¹⁰ Lo que se conoce como error estadístico de primer orden. Ojalá pudiéramos estudiarlo bajo la hipótesis alternativa $H_1: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_{0i}^2$. Pero no sabemos como...

En el ejemplo la red de observables GNSS resuelta por incrementos destaca la similitud de los estimadores a priori y a posteriori en ambas subredes:

- **subred X**

El estimador de la desviación típica a priori del observable de peso unidad es $\sigma_{02}^2 4,09 \cdot 10^{-3}$ m. y el estimador de la desviación típica a posteriori es $\sigma_{01}^2 3,52 \cdot 10^{-3}$ m.

- **subred Y**

El estimador de la desviación típica a priori del observable de peso unidad es $\sigma_{02}^2 4,67 \cdot 10^{-3}$ m. y el estimador de la desviación típica a posteriori es $\sigma_{01}^2 3,46 \cdot 10^{-3}$ m.

Pero no es suficiente para aceptar la red pasar el F-test porque existe el riesgo de aceptar una red rechazable¹¹¹. No se conoce hasta ahora el test definitivo y es preciso tomar cuantas precauciones adicionales se puedan y sepan. Parece razonable que haya que pasar más filtros (fiabilidad interna y externa de la red, recintos de error con probabilidades asociadas...).

Se quiere insistir en que si el estimador de la varianza de peso unidad a priori proviene de las varianzas de los observables aceptados, que forman parte del ajuste, mejora indudablemente la predicción de la varianza a posteriori¹¹² del observable de peso unidad. Se entiende que los residuos calculados y ajustados tengan la desviación típica asignada desde un comienzo a los observables sin ajustar.

No se debe olvidar que la varianza a posteriori del observable de la medida de peso unidad es un parámetro fundamental en la interpretación de los resultados.

5.2.3.2. LA PRECAUCIÓN DE HOMOGENEIZAR LOS PESOS.

Conseguiremos el objetivo primordial del ajuste mínimo cuadrático (interpretar y predecir resultados) siempre que logremos una ponderación homogénea y representativa de la realidad física.

¹¹¹ Error estadístico de segundo orden.

¹¹² La varianza del observable de peso unidad a posteriori en su caso más general es: $\sigma_o^2 = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-R(A)} = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-R(S)}$, y en el caso determinista que nos ocupa es $\sigma_o^2 = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-n}$.

Sin descompensaciones producidas por pesos enormes y muy pequeños simultánea y comparativamente.

La solución de la red es la que minimiza la suma de las correcciones ponderadas al cuadrado y se expresa según el algoritmo:

$$R^T \cdot P \cdot R = k^2 = \text{mínimo}$$

siendo evidente que la matriz de pesos es determinante en la solución del ajuste y en todos los resultados.

La matriz P afecta al sistema de formas lineales, así, pesos muy pequeños anulan la influencia de los observables, hasta hacer inútil su inclusión en el ajuste o hacer inútil la aplicación del método, que puede ser redundante sólo en teoría. Los observables de peso muy grande serán siempre los que determinen el resultado del ajuste.

Para que la compensación sea homogénea es necesario conseguir que el cuadrilátero de ponderación se parezca, en cualquier caso, a un cuadrado.

La factorización de la matriz completa de pesos P a priori, situación habitual en una red GNSS, será según expresión:

$$R^T \cdot P \cdot R = R^T \cdot \Gamma \cdot V \cdot \Gamma^T \cdot R = (\Gamma^T \cdot R)^T \cdot V \cdot (\Gamma^T \cdot R) = R'^T \cdot V \cdot R'$$

siendo las matrices de autovectores y autovalores de P: Γ y V

la factorización de P puede aniquilar la homogeneidad de los pesos y además, y como se ha demostrado, el resultado del ajuste no es solución Gauss-Marcov por no pertenecer a su lugar geométrico, lo que no implica obtener un resultado desfavorable o absurdo de las correcciones a las coordenadas aproximadas obtenidas en el ajuste, pero sí implica error teórico de concepto y el nulo o escaso poder de afirmación de la interpretación del algoritmo.

No es posible, en general, aplicar Gauss-Marcov con matrices de pesos completas ni resolver la aparición de covarianzas mediante una rotación, derivada o no de factorización previa. La solución Gauss-Marcov es rigurosamente incompatible con las covarianzas estudiadas aparecidas a priori o

inducidas, que siempre pueden explicarse a través de una rotación directa genérica de matriz I^T o I'^T , o una rotación inversa I o I' , del n-edro coordinado. Se resuelve rigurosamente el problema modificando los observables, en especial los GNSS aplicando el ajuste por incrementos de coordenadas.

5.2.3.3. SÍNTESIS FINAL

En resumen el método de ajuste mínimo cuadrático Gauss-Marcov avanzado que se desarrolla y propone:

- No pretende mejorar el trabajo de campo. Sí la interpretación de resultados.
- A este efecto es necesario que en la observación se tome el número suficiente de observables para poder seleccionar el número que interese en el proyecto.

El número de observables n se sabe que afecta directamente a la varianza del observable (y ésta, a su vez, al peso), al estudio de la normalidad del observable y también al error o perturbación δb .

- Es preciso conseguir que los observables del ajuste sean variables aleatorias independientes normales. Es necesario que superen el test de normalidad, en nuestro caso el test de adherencia de Pearson como más adecuado.

- Los pesos deben ser homogéneos.

- Es imprescindible que la varianza del observable de peso unidad a priori y a posteriori superen el test de Fisher-Snedecor. Si se utiliza el método de incrementos de coordenadas, éste puede ayudar a lograr este propósito, estudiar los valores de los residuos del ajuste doble de incrementos de coordenadas, y en función de ellos, decidir qué observables formarán parte de cada uno de los sistemas de ecuaciones, ya que en el caso determinista la varianza del observable de peso unidad a posteriori es función de los residuos R , siendo $\sigma_o^2 = \frac{R^T \cdot P \cdot R}{m-n}$.

- Se deben tomar otras precauciones como son: el estudio de la fiabilidad interna y externa de la red, el análisis de las figuras de error con fiabilidades asociadas, y la estimación de los errores de cálculo.

- Así las cosas, los métodos de ajuste gaussiano de incrementos de coordenadas se pueden aplicar con todo rigor a observables GNSS siempre que se cumplan las exigencias previas y el protocolo establecido.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

ACERA GARCÍA, M. A., *Manual imprescindible de C++*, España, Ediciones Anaya Multimedia, 2010.

BERNÉ, J.L.; PRIEGO, E., “*Estaciones de referencia permanentes GPS en España*”, Revista Mapping, 2004

BERNÉ, J.L.; REVHAUG, I.; GARRIGUES, P.; GARCÍA-ASENJO, L.; BASELGA, S.; NAVARRO, S., “*Base de calibración de la Universidad Politécnica de Valencia: descripción y medición*”, Valencia, Actas del IX Congreso Nacional TOPCART, 2008.

BERROCOSO, M.; RAMÍREZ, E.; PÉREZ-PEÑA, A.; ENRÍQUEZ-SALAMANCA, J.M.; FERNÁNDEZ, A.; TORRECILLAS, C., *El sistema de posicionamiento global*, Cádiz, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2004.

BLEWITT, G., "An Automatic Editing Algorithm for GPS Data", Geophysical Research Letters 17. 3:199-202, 1990

CHUECA, M.; HERRÁEZ, J.; BERNÉ, J.L., *Teoría de errores e Instrumentación*, Madrid, Ed. Paraninfo, 1996.

CHUECA, M.; HERRÁEZ, J.; BERNÉ, J.L., *Métodos Topográficos*, Madrid, Ed. Paraninfo, 1996.

CHUECA, M.; HERRÁEZ, J.; BERNÉ, J.L., *Redes Topográficas y Locales. Microgeodesia*, Madrid, Ed. Paraninfo, 1996.

CHUECA, M.; BERNÉ, J. L.; ANQUELA, A. B.; BASELGA, S., *Microgeodesia y Redes Locales: Complementos Docentes*, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 2003.

COLLINS, J. P.; LANGLEY, R. B., “*A Tropospheric Delay Model for the User of the Wide Area Augmentation System*”, New Jersey, Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Technical Report No. 187, September 1997.

GAUSSIRAN, T.; HAGEN, E.; HARRIS, B.; KIESCHNICK, C.; LITTLE, J.; MACH, R.; MUNTON, D.; NELSEN, S.; PETERSEN, C.; RAINWATER, D.; RENFRO, B.; TOLMAN, B.; *Laboratorios de Investigación Aplicada de la Universidad de Texas en Austin* ; SALAZAR, D., *Grupo de Astronomía y Geomática de la Universidad Politécnica de Catalunya*. “*The GPSTk: GLONASS, RINEX versión 3.00 and More*”. Savannah, Georgia, ION-GNSS-2009, September 2009.

HERNÁNDEZ-PAJARES, M.; JUAN ZORNOZA, J.M.; SANZ SUBIRANA, J., Grupo de Astronomía y Geomática, *GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes*, Barcelona, Centro de Publicaciones del Campus Norte , UPC.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J., “*GPS Theory and Practice*”, Australia, Springer-Verlang Wien New York. Fourth revised edition, 1997.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E., “*GNSS - Global Navigation Satellite Systems*”, Australia, SpringerWien, 2008.

HOPFIELD, H. S., “*Tropospheric Effect on Electromagnetically Measured Range: Prediction from Surface Weather Data*”, Baltimore MD, Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, July 1970.

HUGHES, J. C.; BANKS, J. A.; KERKHOFF, A. J.; TOLMAN, B. W.; ELLISON, R.E., “*Measuring Mach 8: sub-milimeter Survey System*”, GPSWorld, June 2007.

JIMÉNEZ MARTÍNEZ, M.J.; MARQUÉS MATEU, A., PAREDES ASENCIO, J.M., VILLAR CANO, M., “*Progreso en la práctica del ajuste gaussiano de una red local. Método de Triangulateración*”, Valencia, Real Academia de Cultura Valenciana. Revista Digital: www.racv.es/racv_digital. Valencia 2010.

JIMÉNEZ MARTÍNEZ, M.J.; QUESADA OLMO, N.; VILLAR CANO, M.; PAREDES ASENCIO, J.M.; MARQUÉS MATEU, A. “*Ajuste gausiano de redes por el método de Incrementos de Coordenadas*”, Valencia, Real Academia de Cultura Valenciana. Revista Digital: www.racv.es/racv_digital. Valencia 2011.

MARTÍN FURONES, A., *Sistema y marco de referencia terrestre. Sistemas de coordenadas*, Valencia, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universidad Politécnica de Valencia, 2010.

STROUSTRUP, B., *The C++ Programming Language*, Addison-Wesley, 2000.

TOLMAN, B. W.; HARRIS, B.; GAUSSIRAN, T.; MUNTON, D.; LITTLE, J.; MACH, R.; NELSEN, S.; RENFRO, B., *Laboratorios de Investigación Aplicada de la Universidad de Texas en Austin*; SCHLOSSBERG, D., *Escuela de Gestión de la Información y Sistemas de la Universidad de California en Berkeley*. “*The GPS Toolkit – Open Source GPS Software*”. Long Beach, California. ION-GNSS-2004, September 2004.

TOLMAN, B. W.; HARRIS, B., “*The GPS Toolkit*”, Linus Journal. Issue #125, September 2004.

WERNER GURTNER, B., *Astronomical Institute. University of Bern*; LOU ESTEY, *UNAVCO Boulder, Co.* “*RINEX. The Receiver Independent Exchange Format Version 3.00*”.
November 28, 2007.

Páginas web consultadas:

<http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>

http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

<http://www.gpskit.org/>

<http://www.gnuplot.info/faq>

<http://www.me.umn.edu/courses/shortcourses/gnuplot>

www.icv.gva.es/ICV/

www.ign.es

<ftp://ftp.geodesia.ign.es>

www.danotario.com/manuales/espacial.pdf

www.constellationstatus.org

www.euref-iagnet

<http://www.doxygen.org/>

<http://www.perforce.com/jam/jam>

<http://www.sgi.com/tech/stl/>

<http://www.octave.org/>

<ftp://igsb.jpl.nasa.gov/pub/product/1573/>

<ftp://ftp.nima.mil/pub2/gps/eopp/>

Documentos consultados:

DDBase Application y DDBase Command Reference en `gpstk/branches/rinex3_dev/apps/geomatics/relposition/doc`