



RNPS 2550

RNSW A1439

REVISTA CUBANA DE GEOMÁTICA

ISSN 3005 - 3390

geomatiga.geocuba.cu



Código 2432524



**DETERMINACION PRECISA DE LAS COORDENADAS Y VELOCIDADES DEL
EMPLAZAMIENTO DE LA ESTACION GNSS DE RASTREO CONTINUO HOLG.
PRECISE DETERMINATION OF THE COORDINATES AND SPEEDS OF THE
LOCATION OF THE STATION GNSS OF I RAKE I CONTINUE HOLG.**

Ing. Emilio Aguilar Leyva.

Empresa Geocuba Oriente Norte. Cuba. eleyva0816@gmail.com.

RESUMEN: El presente artículo aborda el tema de la determinación precisa de las coordenadas y velocidades del emplazamiento de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG, con empleo del software Científico Bernese V5.2. Para este fin se desarrolló una campaña empleando dos periodos de observación continua de 7 días (pertenecientes al año 2017 y 2018 respectivamente). Llevando a cabo un enlace con 14 estaciones pertenecientes al marco IGB14 (11 de ellas fiduciales). Se muestra de forma detallada el procedimiento empleada para la descarga, preparación y procesamiento de la información necesaria para hacer uso del software antes mencionado, así como los resultados obtenidos de cada etapa. Esto permite brindar una panorámica del uso del mismo. Concluyendo con la obtención de forma precisas de las coordenadas y velocidades del emplazamiento de la estación GNSS referidas al marco ITRF 2014 época 2018.11.14.

Palabras Clave: Bernese V5.2; GNSS; HOLG; IGB14.

ABSTRACT: The present article approaches the topic of the precise determination of the coordinates and speeds of the location of the station GNSS of I rake continuous HOLG, with employment of the Scientific software Bernese V5.2. For this end a campaign was developed using two periods of continuous observation of 7 days, (belonging to the year 2017 and 2018 respectively), carrying out a connection with 14 stations belonging to the mark IGB14, 11 of them fiducials. It is shown in a detailed way the procedure used for the discharge, preparation and prosecution of the necessary information to make use of the software before mentioned, as well as the obtained results of each stage, what allows to offer a panoramic of the use of the same one. Concluding with the form obtaining specifics of the coordinates and speeds of the location of the station GNSS referred to the ITRF 2014 time 2018.11.14.

Keywords: Bernese V5.2; GNSS; HOLG; IGB14.

INTRODUCCIÓN

Desde el surgimiento de los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), sus usuarios han tenido la necesidad de contar con herramientas que permitan el manejo de forma precisa del caudal de información brindado por estos, a fin de lograr el máximo aprovechamiento de sus potencialidades.

Esto trajo consigo el continuo desarrollo tecnologías tanto físicas como lógicas, que permitiesen el crecimiento de forma exponencial de las aplicaciones de estos sistemas de navegación.

El posicionamiento de alta precisión es una de estas aplicaciones, el cual ha encontrado en los softwares de uso científico un poderoso aliado para su desarrollo, al permitir al usuario llevar a cabo rutinas de procesamiento teniendo en cuenta un mayor número de variables y correcciones que en cualquier otro software de uso comercial. Además de la posibilidad de la creación de rutinas específicas para las condiciones y características de cada red en particular.

El presente trabajo plasma las experiencias del autor en el empleo del software de uso científico Bernese V5.2 en la determinación de forma precisa de las coordenadas y velocidades del emplazamiento de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG. Se brinda una panorámica del uso de este, así como de los elementos a tener en cuenta para el desarrollo de las rutinas de procesamiento con el mismo. Lo cual permite realizar un acercamiento a las potencialidades de este tipo de software para la creación y mantenimiento de redes geodésicas.

METODOLOGIA Estación GNSS de Rastreo Continuo HOLG

Ubicada en la azotea del Laboratorio Metrológico No. 57 perteneciente a la Empresa GEOCUBA Oriente Norte. La estación GNSS de rastreo continuo HOLG (Fig. 1) se encuentra emplazada en el pilar de centración forzada Base - 1 – G. Comenzó a operar a principios del año 2015 hasta mediados del año 2024, en este periodo de tiempo se encontró rastreando de forma casi ininterrumpida señales transmitidas desde las constelaciones GPS y GLONASS.

Perteneciente al proyecto Caribe y posteriormente enlazada a la red GNSS Permanente (RGP) de la República de Cuba, su emplazamiento cuenta con coordenadas precisas referidas al marco ITRF 2014 Época 2017.2683. (Rodríguez-Roche, 2017)

Por sus características respecto a ubicación y condiciones para el posicionamiento GNSS, forma parte del Polígono de Validación GPS Holguín. Del cual sirvió como referencia para la determinación de coordenadas del resto de estaciones que componen dicha red. (RodríguezRoche, 2016)



Figura 1. Estación GNSS de Rastreo continuo HOLG Concepción de la Campaña.

Para el desarrollo de la campaña de la cual se derivarían las coordenadas y velocidades del emplazamiento de esta estación, se seleccionaron dos semanas de trabajo continuo. Compilando estas en observaciones de 24 horas del 1 al 7 de noviembre del año 2017 y del 8 al 14 del mismo mes, pero del año 2018.

Como estaciones de control se seleccionaron un total de 14 estaciones globales, 11 de ellas fiduciales pertenecientes al marco IGB14. La tabla 1 muestra el listado del total de estaciones que se emplearon en el desarrollo de la campaña, información referente al tipo de solución de sus coordenadas (**I** para el caso de fiduciales, **P** para el caso de Posicionamiento Puntual Preciso), así como información sobre los receptores, antenas y ubicación de los mismos:

Tabla 1. Estaciones empleadas en la Campaña de determinación GNSS.

| Estación | IGB14 | Receptor GNSS | Antena GNSS | País |
|----------|-------|----------------------|-----------------------|-----------|
| BARH | I | LEICA GRX1200GGPRO | LEIAX1202GG NONE | EE.UU. |
| BOGT | P | JAVAD TRE_3 DELTA | JAVRINGANT_DM NONE | Colombia |
| BRMU | I | LEICA GRX1200GGPRO | JAVRINGANT_DM NONE | Bermudas |
| GLPS | I | JAVAD TRE_G3TH DELTA | ASH701945B_M SCIT | Ecuador |
| GODZ | I | JPS EGGDT | AOAD/M_T JPLA | EE.UU. |
| GUAT | I | LEICA GRX1200GGPRO | LEIAR25.R3 LEIT | Guatemala |
| INEG | P | LEICA GR10 | LEIAR10 NONE | México |

| | | | | |
|------|---|----------------------|-------------------------|--------------------|
| KOUR | I | SEPT POLARX4 | SEPCHOKE_MC NONE | Guinea Francesa |
| LMMF | I | TRIMBLE NETR9 | TRM57971.00 NONE | Martinica |
| MANA | P | TRIMBLE NETR9 | TRM29659.00 UNAV | Nicaragua |
| MDO1 | I | JAVAD TRE_G3TH DELTA | TPSCR.G3 SCIS | EE.UU. |
| NIST | I | NOV OEM4-G2 | NOV702 NONE | EE.UU. |
| PIE1 | I | JAVAD TRE_G3TH DELTA | ASH701945E_M NONE | EE.UU. |
| SCUB | I | JAVAD TRE_G3TH DELTA | JAV_RINGANT_G3T NONE | Cuba |
| HOLG | P | LEICA GR10 | LEIAR10 NONE | Cuba |

Estas estaciones están distribuidas en 4 cuadrantes alrededor de la estación HOLG. Con una densidad de aproximadamente 4 estaciones por cuadrante, a una distancia de entre 3475.400 km a 107.953 km para la estación NIST y SCUB. Siendo estas las líneas base más larga y corta respectivamente.

El Software Científico Bernese V5.2

Desarrollado por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna en Suiza. Bernese V5.2 compila una serie de programas para el tratamiento riguroso de observaciones GNSS. Dirigido principalmente a instituciones y organizaciones científicas o agencias geodésico cartográficas encargadas de redes regionales y globales. (Rodríguez-Roche, 2021) Entre las principales aplicaciones de este software se encuentran:

- El postproceso rápido de pequeños proyectos L1, así como de proyectos L1&L2.
- El proceso automatizado de redes permanentes.
- Cualquier tipo de postproceso en cuasi tiempo real, que implique varios años de datos GNSS.
- Procesamiento de datos de un número considerable de receptores.
- Procesamiento combinado de observaciones GPS+GLONASS.
- Análisis de receptores en RTK (incluidos aerotransportados).
- Monitoreo ionosférico y troposféricos.
- Cálculo de los relojes y transferencia del tiempo.
- Cálculo de las órbitas GNSS, así como para los satélites de órbitas bajas (LEO) con los parámetros asociados (ej. parámetros de rotación terrestre).
- Validación de las órbitas de las observaciones SLR.

El programa Bernese V5.2 fue adquirido por el Grupo Empresarial GEOCUBA en el año 2015 en su versión comercial. Empleándose desde entonces en infinidad de proyectos, entre los que cabe destacar la creación de la Red GNSS Fundamental (RGF) y la Red Geodésica Básica de 2do. Orden (RGB2), incluidas en la modernización de la Red Geodésica Estatal de la República de Cuba. Las soluciones anuales de la Red GNSS Permanente (RGP), así como en varias redes dedicadas a los estudios geodinámicos en el oriente del país. (Rodríguez-Roche, 2021)

Trabajos preparatorios para el procesamiento con Bernese.

Los trabajos preparatorios se dividieron en 3 etapas las cuales consistieron en: descarga, preparación del material descargado y trabajos preparatorios dentro del ambiente de Bernese.

Durante el desarrollo de la etapa una inicial de descarga, fue obtenida la información necesaria para el procesamiento, de diferentes centros de datos tales como (NASA), (Austria), (Suecia), de los que se obtuvo:

- Observaciones de las estaciones GNSS seleccionadas en formato Rinex compactado (Hatanaka).
- Efemérides Precisas.
- Modelos Ionosféricos.
- Ficheros de corrección a los relojes de los satélites.
- Parámetros de Rotación Terrestre.
- Modelo de función troposférica publicado por la Universidad de Viena.
- Información sobre los errores diferenciales de código.
- Coordenadas y velocidades de las estaciones que componen el marco IGB14.
- Listado de estaciones Fiduciales del marco IGB14.

Seguido de la etapa de descarga se continuó con la etapa de preparación del material descargado, la cual consistió en:

- Conversión de las observaciones en formato Hatanaka a formato RINEX versión 2.11, con empleo de la herramienta CRX2RNX.
- Renombrado de los ficheros para la importación en el ambiente de Bernese (efemérides precisas con extensión *.EPH a *.PRE y de parámetros de orientación terrestre de *.ERP a *.IEP).
- Compilación de las rejillas del modelo de fusión troposférica global, publicado por la Universidad de Viena en un solo fichero por día con extensión *.GRD.

Concluida esta etapa, se procedió a determinar las coordenadas aproximadas de las estaciones no fiduciales de la red. Para este fin se empleó la aplicación de escritorio gLab, con la cual se desarrolló una rutina de PPP (Posicionamiento Puntual Preciso).

Trabajos preparatorios para el procesamiento dentro del ambiente de Bernese.

Antes de comenzar la etapa de preparación de los trabajos dentro del ambiente del software Bernese fue necesario la creación de los siguientes ficheros.

- CDVHOLG.CRD (Coordenadas de los puntos que componen la campaña)
- CDVHOLG.VEL. (Velocidades de las estaciones que componen la campaña.)
- CDVHOLG.ABB (Abreviaturas de los nombres de las estaciones involucradas en el procesamiento)
- CDVHOLG.BLQ (Correcciones por carga oceánica)

En el caso de este último para su obtención fue necesario el envío de las coordenadas de las estaciones que componen la campaña a la página del Observatorio espacial de Onsala, en Suecia, recibiendo a vuelta de correo electrónico los coeficientes que componen el mismo.

La etapa de preparación de los trabajos dentro del ambiente de Bernese se desarrolló de la siguiente manera:

- Se creó la campaña CDVHOLG (referido a “Campaña de determinación de Velocidades HOLG”), en cuyos directorios se copiaron los siguientes elementos:

Tabla 2. Estructura de copia en directorios de Bernese GNSS Software.

| Directorio | Información |
|------------|--|
| ATM | Modelos Ionosféricos (*.ION) |
| Directorio | Información |
| GRD | Mapa global troposférico (*.GRD) |
| ORB | Efemérides Precisas (*.PRE), correcciones diferenciales de código (*.DCB), Parámetros de Rotación Terrestre (*.IEP). |
| OUT | Correcciones a los relojes de los satélites (*.CLK). |
| RAW | Observaciones en formato Rinex. (*.170 y *.180). |
| STA | CDVHOLG.CRD, CDVHOLG.VEL, CDVHOLG.ABB, CDVHOLG.BLQ, IGB14.FIX, IGB14.PSD |

- Con empleo del programa **COOVEL**, se aproximaron las coordenadas a la época de cada sesión, aplicándole correcciones pos sísmicas a estas, compiladas en el fichero IGB14.PSD, resultando de este proceso un total de 14 ficheros nombrados APR\$YD+0.CRD¹.
- Se empleó el programa **GRDSIS2**, para la obtención del fichero CDVHOLG.ATL compuesto por los coeficientes de correcciones por las cargas de la marea atmosférica.
- Se empleó el programa **RNX2STA** para la obtención de los ficheros de información de los receptores y antenas derivados de los archivos de observación en formato RINEX. En este caso se creó un fichero por cada año denominados CDV2017.STA y CDV2018.STA. Estos ficheros fueron compilados en un solo archivo denominado CDVHOLG.STA mediante el programa **STAMERGE**.
- Con empleo del programa **RXOBV** se importaron los archivos RINEX al ambiente de trabajo de Bernese, resultando de este proceso la creación de 4 ficheros por cada RINEX importado referentes a encabezado y observaciones de código (con extensión *.CZH y *.CZO respectivamente) además de encabezado y observaciones de fase (con extensión *.PZH y *.PZO respectivamente).
- Se empleó el programa **POLUPD** para la conversión de los ficheros referidos a parámetros de orientación terrestre con extensión *.IEP al formato de trabajo de Bernese, en este caso se crearon un total de 14 ficheros con extensión *.ERP.
- Con empleo del programa **PRETAB** se crearon los archivos de orbitas tabulares y correcciones a los relojes, (con extensiones *.TAB y *.CLK respectivamente) que posteriormente serían utilizados en la fase de procesamiento para cada sesión de manera independiente.

- Empalmando el programa *ORBGEN* y las orbitas tabulares creadas en la etapa anterior se generaron las orbitas estándar necesarias para el procesamiento de las sesiones, quedando concluida esta etapa con la obtención de un total de 14 ficheros con extensión *.STD.

Procesamiento con Bernese

¹ APR: Acrónimo. \$YD:

Año y día del año

+0: Indicador de conteo consecutivo

Para el desarrollo del procesamiento se siguió la metodología de trabajo expuesta en el tutorial de este software publicado por su desarrollador (Dach & Urs, 2021). Este documento concibe el procesamiento dentro del ambiente de Bernese según las siguientes etapas:

- Sincronización del reloj del receptor.
- Creación de las líneas base.
- Pre procesamiento de la fase.
- Pre procesamiento - salva de los residuales.
- Cálculo de la primera solución de la red.
- Resolución de las ambigüedades para cada línea base.
- Cálculo de la solución final de la red.
- Chequeo de las coordenadas de los sitios fiduciales.
- Chequeo de la reiteración diaria.
- Cálculo de la solución reducida de las sesiones.
- Cálculo de las velocidades.

Al tratarse de una campaña compuesta por 14 sesiones de trabajo y el hecho de emplear este software en su forma interactiva, muchas de las etapas anteriormente descritas debieron realizarse de forma independiente para cada una de las sesiones. Por lo que el procesamiento debió realizarse con extremo cuidado de no dejar de aplicar estos procesos a alguna de ellas. Para este fin se emplearon las plantillas para el control de los trabajos sugeridas por (Rodríguez Roche, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN Sincronización de los Relojes

La sincronización de los relojes se desarrolló empleando el programa *CODSPP*, tomando como insumos para el desarrollo de estas las observaciones de código con extensión *.CZH, así como las coordenadas aproximadas de la sesión y los ficheros de correcciones diferenciales de código. Los resultados obtenidos de las 14 sesiones fueron compilados con el programa *CODXTR*. De esta manera se pudo determinar la estación con mayor desviación estándar en este proceso, encontrada en la sesión 305 con:

- MAX. RMS = 2.31 M para la estación GLPS

Además de la estación con mayor cantidad de observaciones defectuosas, encontrada en la sesión 317:

- MAX. BAD = 4.03% para la estación BRMU

De esta etapa se derivó la obtención de los ficheros referentes al encabezado y observaciones de código (con extensión *.CZH y *.CZO), así como los de encabezado y observaciones de fase (con extensión *.PZH y *.PZO respectivamente) corregidos por el estado del reloj.

Creación de las líneas base.

Con empleo del programa *SNGDIF* se crearon los archivos de líneas base para cada una de las sesiones de forma independiente. Tomando como información primaria los ficheros con extensión *.PZH, derivados de la etapa anterior. Así como el archivo de abreviaturas de la campaña creados en la etapa inicial.

De esta forma se obtuvieron un total de 195 archivos de simple diferencia con extensión *.PSH y *.PSO para el total sesiones que componen la campaña.

Pre procesamiento de la fase.

La etapa de pre procesamiento de fase de la cual se derivaría la detección de saltos de ciclo en las observaciones, se llevó a cabo con empleo del programa *MAURP*. Tomando como insumos para el desarrollo de este, los archivos de simple diferencia obtenidos de la etapa anterior. Así como las coordenadas aproximadas, orbitas estándares y parámetros de orientación terrestre, para cada sesión de forma independiente.

De este proceso se obtuvieron un total de 14 archivos de salida nombrados MPR\$YD+0.OUT, correspondientes a los resultados de este proceso por cada sesión de trabajo.

Seguido de esto se procedió a la extracción de este procesamiento de los archivos de salida por medio del programa *MPRXTR*. La tabla 3 muestra un resumen del fichero de salida de este programa para la sesión 305:

Tabla 3. Resumen de salida del programa *MPRXTR*.

SUMMARY OF THE MAUPRP OUTPUT FILE

| SESS | FIL | ¿ OK? | BL | L(KM) | #OBS. | RMS | MIN.SLIP |
|--------|-----|-------|------|-------|-------|-----|----------|
| 3050 | 1 | OK | BABR | 1367 | 40465 | 12 | 11 |
| 3050 | 2 | OK | BAGO | 931 | 40441 | 12 | 11 |
| 3050 | 3 | OK | BOLM | 1802 | 36549 | 14 | 11 |
| ... | ... | ... | | ... | | ... | ... |
| 3050 | 13 | OK | MDPI | 557 | 41247 | 11 | 12 |
| Total: | 13 | | | 1244 | 42696 | 16 | 11 |

Pre procesamiento - salva de los residuales.

Empleando el programa *GPSEST* se realizó el pre procesamiento del cual se derivaría la salva de los residuales de cada sesión de forma independiente. De esta etapa se crearon los ficheros EDT\$YD+0.RES, los cuales posteriormente serian compilados con el programa *RESRMS* para la obtención de las estadísticas de estos por cada sesión de trabajo. Quedando almacenados estos resultados en los ficheros de salida RMS\$YD+0.OUT. La tabla 4 muestra un resumen del fichero de salida correspondiente a la sesión 305:

| | Total, RMS | med.Resi | Sigma | numObs | nSat | nDel |
|------|------------|----------|-------|--------|------|------|
| BABR | 2.5 | 1.2 | 1.8 | 7178 | 54 | 85 |
| BAGO | 1.3 | 0.8 | 1.1 | 7168 | 54 | 7 |
| BOLM | 2.5 | 1.4 | 2 | 6441 | 54 | 134 |
| BRLM | 3.3 | 1.4 | 2.1 | 7080 | 54 | 159 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| MDPI | 1.2 | 0.6 | 1 | 7301 | 55 | 4 |

Tabla 4. Resumen de salida del programa RESRMS.

FILE INFORMATION AND STATISTIC:

Estos archivos fueron empleados posteriormente para el marcado de las observaciones deficientes desarrollando este proceso por medio del programa *SATMRK*. La tabla 5 muestra un resumen de los resultados de este proceso para la sesión 305:

Tabla 5. Resumen de salida del programa *SATMRK*.

SUMMARY OF ACTION IN THE OBS. FILE(S):

| Num | BL | Mea-type | Observations | | |
|--------|----------|--------------|--------------|--------|--------|
| | | | mark | unmark | delete |
| 1 | BABR | P : 4386 0 0 | | | |
| 2 | BAGO | P : 190 0 0 | | | |
| 3 | BOLM | P : 4394 0 0 | | | |
| 4 | BRLM | P : 7964 0 0 | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | LMSC P : | 2830 0 0 13 | MDPI P : | 98 0 0 | |
| Total: | | | 31638 | 0 | 0 |

Cálculo de la primera solución de la red

Para el caso de la primera solución de la red (Flotante) se empleó nuevamente el programa *GPSEST*, tomando como insumos para el desarrollo de este las observaciones de fase, coordenadas aproximadas, orbitas estándares, parámetros de orientación terrestre, así como el modelo global ionosférico, de cada sesión de trabajo.

En esta ocasión se generaron del mismo 3 ficheros por cada sesión, referente a la salida del programa, coordenada de la primera solución de la red y primera estimación del modelo troposférico específico del sitio, nombrados de la siguiente manera respectivamente:

- FLT\$YD+0.OUT
- FTL\$YD+0.CRD
- FLT\$YD+0.TRP

La tabla 6 muestra un resumen de los resultados obtenidos para el ajuste de la sesión 305:

Tabla 6. Resumen de salida del programa GPSEST. A
POSTERIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT

| | |
|-----------------------------------|---|
| A POSTERIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT | 0.0015 M (SIGMA OF ONE-WAY L1 PHASE OBSERVABLE AT ZENITH) |
| DEGREE OF FREEDOM (DOF) | 74184 |
| CHI**2/DOF | 2.12 |

Resolución de las ambigüedades

El proceso de resolución de ambigüedades se realizó de forma interactiva empleando el programa *GPSEST*. Tomando como insumo para el desarrollo del mismo las observaciones de fase, coordenadas de la primera solución de la red, orbitas estándares, parámetros de orientación terrestre, modelo global ionosférico, así como el modelo local troposférico resultante de la primera solución de la red, de cada sesión de trabajo.

Para el caso de esta campaña se empleó el algoritmo de resolución de ambigüedades *QIF* (Quasi Ionosphere Free), al tratarse de líneas bases mayores a 1000km, así como observaciones de 24 horas por sesión.

El hecho de desarrollar este proceso de forma interactiva, conllevó al procesamiento de las 195 líneas base que conforman la campaña de forma independiente, por lo que para apoyar el desarrollo de la misma se emplearon las plantillas de control sugerida por (Rodríguez-Roche, 2021), para el registro de los archivos de líneas bases procesadas.

Compilación de los resultados de resolución de ambigüedades

Una vez concluida la etapa de resolución de ambigüedades se procedió a compilar los resultados de este proceso para cada sesión de forma independiente por medio del programa *GPSXTR*. La tabla 7 muestra un resumen de los resultados obtenidos para la sesión 305:

Tabla 7. Resumen de salida del programa *GPSXTR*.

| File | Length (km) | Before #Amb | (mm) | After #Amb | (mm) | Res (%) | Sys |
|---------|----------------|----------------|------|---------------|------|------------|-----|
| Tot: 13 | 1243.932 | 1372 | 1.7 | 872 | 1.7 | 36.4 | G |
| Tot: 12 | 1302.959 | 992 | 1.7 | 634 | 1.7 | 36.1 | R |
| Tot: 13 | 1243.932 | 2364 | 1.7 | 1506 | 1.7 | 36.3 | GR |

Cálculo de la solución final de la red.

Para la determinación de la solución final de la red (Fija) de cada sesión de trabajo se empleó nuevamente el programa *GPSEST*. Introduciendo en este caso además de los elementos empleados anteriormente, el mapa global de función troposférica publicado por la Universidad de Viena, compilado en ficheros con extensión *.GRD.

De esta etapa se derivó la obtención de los archivos referentes a los sistemas de ecuaciones normales (nombrados FIX\$YD+0.NQ0), los cuales serían utilizados en posteriores etapas.

La tabla 8 muestra un resumen de los resultados obtenidos para la solución fija de la sesión 305:

Tabla 8. Resumen de salida del programa GPSEST.

| PARAMETER TYPE | #PARAMETERS | #PRE-ELIMINATED | #SET-UP | #NO-OBS | #SINGULAR |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------|---------|-----------|
| STATION | 42 | 0 | 42 | 0 | 0 |
| COORDINATES | | | | | |
| AMBIGUITIES | 1014 | 1014 (BEFORE INV) | 1174 | 160 | 18 |
| SITE-SPECIFIC TROP.PARAMETERS | 406 | 0 | 406 | 0 | 0 |
| TOTAL, NUMBER OF PARAMETERS | 1462 | 1014 | 1622 | 160 | 18 |

Chequeo de las coordenadas de los sitios fiduciales

Para esta etapa inicialmente se empleó el programa *ADDNEQ2*, tomando como insumos para el desarrollo del mismo las ecuaciones normales obtenidas de las soluciones finales de cada sesión de trabajo, así como el listado de coordenadas fiduciales del marco IGB14, obtenido durante la etapa de descarga.

De este proceso se derivó la obtención de los ficheros referentes a la salida del programa, ecuaciones normales, coordenadas y modelo troposférico local, nombrados de la siguiente forma respectivamente:

- FIN\$YD+0.OUT
- FIN\$YD+0.NQ0
- FIN\$YD+0.CRD
- FIN\$YD+0.TRP

La tabla 9 muestra la estadística de la solución de la sesión 305:

Tabla 9. Estadísticas del Ajuste de la red.

| STATISTICS: | |
|--|-----------|
| TOTAL NUMBER OF AUTHENTIC OBSERVATIONS | 76057 |
| TOTAL NUMBER OF PSEUDO-OBSERVATIONS | 352 |
| TOTAL NUMBER OF EXPLICIT PARAMETERS | 433 |
| TOTAL NUMBER OF IMPLICIT PARAMETERS | 996 |
| TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS | 76409 |
| TOTAL NUMBER OF ADJUSTED PARAMETERS | 1429 |
| DEGREE OF FREEDOM (DOF) | 74980 |
| A POSTERIORI RMS OF UNIT WEIGHT | 0.00151 m |
| CHI**2/DOF | 2.28 |
| TOTAL NUMBER OF OBSERVATION FILES | 13 |
| TOTAL NUMBER OF STATIONS | 14 |

Transformación de Helmert

Con empleo del programa *HELMRI*, se realizó el chequeo de las coordenadas de los sitios fiduciales, estableciendo con esta un límite de rechazo en las soluciones obtenidas.

En el caso de esta campaña solo se encontró un Outlier en la sesión 214, perteneciente a la solución de la estación SCUB, por lo que la misma debió ser eliminada del listado de estaciones fiduciales empleado en el apartado **Cálculo de la solución final de la red**. Siendo necesario realizar el reprocesamiento llevado a cabo en esa etapa al total de sesiones de la campaña.

Seguido de esto se volvió a realizar este proceso a los resultados obtenidos sin detectar en esta ocasión ningún otro outlier. Por lo que se aceptaron las nuevas soluciones obtenidas para las 14 sesiones. La tabla 10 muestra un resumen de los resultados de este proceso para la sesión 305.

Tabla 10. Resumen de salida del programa HELMR1.

| | | | | |
|-----------------|--|-------|-------|-------|
| RMS / COMPONENT | | 2.01 | 4.62 | 9.18 |
| MEAN | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | | | |
| MIN | | -2.93 | -7.26 | -9.48 |
| | | | | |
| MAX | | 3.7 | 5.71 | 18.34 |

Chequeo de la reiteración diaria.

Para el chequeo de la reiteración diaria se empleó el programa *COMPRAR*, usando como insumo para su desarrollo las soluciones de coordenadas de todas las sesiones obtenidas en la etapa anterior. La tabla 11 muestra un resumen de los resultados de este proceso para la estación HOLG:

Tabla 11. Resumen de salida del programa COMPRAR.

| NUM | STATION | #FIL | C | RMS |
|-----|---------|------|---|------|
| 19 | HOLG | 14 | N | 2.29 |
| | | | E | 5.21 |
| | | | U | 5.46 |

Cálculo de la solución reducida de las sesiones

Como antesala a la obtención de las soluciones finales de la campaña fue necesario determinar la solución reducida de las ecuaciones normales obtenidas en las etapas anteriores. Para este fin

se empleó nuevamente el programa *ADDNEQ2*, del cual se derivarían los ficheros de salida del programa y las ecuaciones normales reducidas en formato *.NQ0 y *.SNX.

Quedando nombrados los mismos de la siguiente forma:

- RED\$YD+0.OUT
- RED\$YD+0.NQ0
- RED\$YD+0.SNX

Obtención de las Coordenadas y velocidades Finales

Para la obtención de las coordenadas y velocidades finales de la campaña se empleó nuevamente el programa *ADDNEQ2* con él que se combinaron el total de soluciones de las sesiones anteriormente reducidas.

La tabla 12 muestra un resumen de la estadística del ajuste por mínimos cuadrados de la combinación de dichas soluciones:

Tabla 12. Estadísticas de la combinación de soluciones
STATISTICS:

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| DEGREE OF FREEDOM (DOF) | 1110373 |
| A POSTERIORI RMS OF UNIT WEIGHT | 0.00152 m |
| CHI**2/DOF | 2.31 |
| TOTAL NUMBER OF OBSERVATION FILES | 195 |
| TOTAL NUMBER OF STATIONS | 15 |

La tabla 13 muestra las coordenadas obtenidas para la estación GNSS de rastreo continuo HOLG referidas al marco IGB14 época 2018-11-14:

Tabla 13. Coordenadas de la estación HOLG.

| X (m) | Y (m) | Z (m) |
|---------------|----------------|---------------|
| 1418700.17567 | -5790677.06894 | 2259031.78484 |

La tabla 14 muestra las desviaciones estándares asociadas a la determinación de las componentes de coordenadas:

Tabla 14. Desviaciones Estándar asociadas a la determinación de las componentes de coordenadas.

| σ_x (m) | σ_y (m) | σ_z (m) | σ_{xyz} (m) |
|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 0.00017 | 0.00044 | 0.00021 | 0.00052 |

La tabla 15 muestra las componentes de velocidad determinadas para esta estación en el periodo 2017 - 2018:

Tabla 15. Componentes de velocidades de la estación HOLG.

| \dot{X} (m/años) | \dot{Y} (m/años) | \dot{Z} (m/años) |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| -0.00792 | -0.00655 | 0.00574 |

La tabla 16 muestra las desviaciones estándares asociados a la determinación de las componentes de velocidad:

Tabla 16. Desviaciones estándares asociadas a la determinación de las componentes de velocidad.

| σ_x (m) | σ_y (m) | σ_z (m) | σ_{xyz} (m) |
|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 0.00026 | 0.00067 | 0.00032 | 0.00079 |

CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo se mostró cómo fue posible la obtención de las coordenadas y velocidades de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG, además de una síntesis de la metodología adoptada para el trabajo con el software Bernese V5.2.

El hecho de emplear una semana de trabajo continuo por cada año, soporte lógico de carácter científico para la elaboración de los resultados, así como un total de 14 estaciones pertenecientes al marco IGB14 (11 de ellas fiduciales), permitió alcanzar una solución final con una desviación estándar tridimensional en el orden de los 0.52 mm. Lo que permite afirmar que se dotó al emplazamiento de dicha estación de coordenadas de alta precisión referidas al marco ITRF2014 época 2018-11-14.

Para el caso de las componentes de velocidades, las mismas fueron obtenidas con una desviación estándar tridimensional en el orden de los 0.79 mm, si bien esta precisión es mucho mayor a la alcanzada en investigaciones anteriores, se requerirán un número mayor de estimaciones de estas componentes antes de concluir que estas sean las velocidades definitivas a adoptar para el emplazamiento de la estación.

En tal sentido se recomienda emplear para trabajos de alta precisión, los valores obtenidos por (Rodríguez-Roche, 2024) al estar estos derivados de todo un año de monitoreo continuo de las características dinámicas del emplazamiento de la estación. Así como encontrarse referidos a una época de observación más actual.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer de forma personal al Dr.C, Ernesto Rodríguez Roche, por poner sus conocimientos en función del desarrollo de las tecnologías GNSS en el país. A mis compañeros de trabajo del taller de geodesia y Topografía de la Agencia Holguín y a la dirección de esta última por la confianza depositada. Al Dr.C. Jorge García Díaz, por siempre encontrar tiempo en su apretada agenda para mis consultas. Por último y no menos importante a mi hija Ana Luna, por ser mi rosa de los vientos.

REFERENCIAS

1. Austria. *Sitio de la Universidad Politécnica de Viena*.
2. https://vmf.geo.tuwien.ac.at/trop_products/GRID/2.5x2/VMF1
3. Dach, R., & Urs, H. (2021). Tutorial del programa Bernese v5.2. *Instituto astronómico de la Universidad de Berna*.
4. NASA. *Archive of Space Geodesy Data*.
5. https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS
6. Rivera-Sánchez, I. (2018). *Estimación de coordenadas de una red GPS de alta precisión en la ciudad de Los Ángeles* [Universidad de Concepción].
7. Rodríguez-Roche, E. (2021). Programa del 1er Curso Práctico para la explotación del software científico Bernese V5.2. *Ciudad de la Habana, Cuba*.
8. Rodríguez-Roche, E. (2015). Establecimiento de una estación GNSS pasiva semipermanente. *VII Convención Internacional de Agrimensura*.
9. Rodríguez-Roche, E. (2016). Creación de la Red GPS "Polígono de Validación GPS Holguín".
10. *Informe de Resultados. La Habana 2016*.
11. Rodríguez-Roche, E. (2017). Creación de la Red GNSS Fundamental (RGF) 2017 y los Polígonos de Validación GNSS (PGV) de la República de Cuba. Informe Técnico. La Habana, Cuba.
12. Rodríguez-Roche, E. (2020). Metodología de los trabajos preparatorios para la explotación del programa Bernese V5.2.
13. Rodríguez-Roche, E. (2024). Determinación de las coordenadas y las velocidades de la red GNSS permanente de Cuba: solución 2022-2023. Convención Internacional Geomática 2024.
14. Suecia. Observatorio Espacial de Ósala. <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>.