

CÁLCULO DE COODENADAS DE PRECISIÓN MENDIANTE EL USO DE SOFTWARE CIENTIFICO GAMIT/GLOBK EN LÍNEAS MAYORES A 100 KILÓMETROS

Sergio Danilo Andrade Sampedro
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí, Ecuador
E-mail: sdas_1189@yahoo.es

RESUMEN

La precisión y exactitud de los puntos determinados en Tierra han sido para estudios con fines científicos y prácticos una constante preocupación, y gracias a grandes progresos tecnológicos e informáticos se han podido realizar avances en las técnicas de posicionamiento logrando alta precisión y exactitud. Para lo cual en el presente proyecto se logró procesar mediante el uso de software científico GAMIT/GLOBK información correspondiente a las estaciones de Arequipa, Bogotá, Brasil, Riobamba por un periodo de observación de 19 semanas a partir de la semana GPS 1632. Obteniéndose como resultados de las observaciones procesadas, exactitudes menores a los ± 2 cm al ser comparadas con las coordenadas cartesianas geocéntricas finales publicadas por parte de SIRGAS y precisiones menores a los ± 2 mm. Se determinó bajo un análisis las seis líneas base conformadas por las cuatro estaciones anteriormente mencionadas, determinándose un error máximo de aproximadamente 6 mm en la distancia, la cual corresponde a la línea base de mayor longitud con 3675 km entre la estación de RIOP (Ecuador) y BRAZ (Brasil), con lo cual se pudo determinar la relación directamente proporcional del error y la distancia.

Palabras clave; GAMIT/GLOBK, coordenadas, exactitud, precisión.

ABSTRACT

The precision and accuracy of points on Earth have been determined for studies with scientific and practical purposes a constant concern, and thanks to great technological advances and computer scientists have been able to make progress in positioning techniques to achieve high precision and accuracy. To which in this project process was achieved through the use of scientific software GAMIT / GLOBK information for the stations of Arequipa, Bogotá, Brazil, Riobamba by an observation period of 19 weeks from GPS week 1632. Obtained as results of observations processed, lower accuracies to ± 2 cm when compared with the final published geocentric Cartesian coordinates by SIRGAS and lower precision to ± 2 mm. Analysis was determined under the six baselines formed by the four stations mentioned above, determining a maximum error of approximately 6 mm in the distance, which corresponds to the longest baseline to 3675 km from the station RIOP (Ecuador) and BRAZ (Brazil), which could be determined directly proportional error and distance.

Keywords; GAMIT/GLOBK, coordinates, accuracy, precision.

I. INTRODUCCIÓN

Al analizar el concepto tradicional de marco de referencia se lo define como una red de puntos, con coordenadas determinadas, con una cierta precisión en el sistema de referencia correspondiente, el cual se definía localmente mediante el empleo de un datum geodésico determinado por un elipsoide, tres parámetros que determinaban el origen y tres parámetros que determinaban la orientación.

Es crucial el mencionar que actualmente en contraposición al concepto clásico, los marcos de referencia modernos se basan en un grupo de coordenadas geocéntricas tridimensionales (como ser ITRF).

Con respecto a las técnicas utilizadas en las mediciones geodésicas y topográficas, es notorio el gran avance realizado

de manera que permiten apreciar variaciones en sus determinaciones que de forma pasada quedaban ocultas.

Por lo cual vale recalcar que varios de los fenómenos escritos a continuación están ligados directamente con la precisión con que se obtengan las coordenadas procesadas, que si bien es cierto, para fines prácticos o de ingeniería no son tomados en cuenta en muchos de los casos, pero que al tratarse de un fin científico, es vital el tomar en cuenta dichos factores, así:

- La época de referencia.
- Los modelos de movimiento de placas tectónicas.
- Las velocidades de las estaciones terrestres.
- Los modelos de mareas terrestres y oceánicas,
- Distintas realizaciones de un determinado sistema de referencia, etc. [1]

II. ANTECEDENTES

La noción de sistema de referencia espacial es en general familiar. Parece natural que a cada punto del espacio se le pueda asociar un conjunto de coordenadas que definan su posición en forma unívoca y universal. Sin embargo, definir y poder usar un sistema de referencia en la realidad física no es trivial. Durante casi toda la historia del hombre, la necesidad de dar coordenadas a puntos se limitaba a un grupo de pocas pero relevantes aplicaciones como ser la navegación y en menor medida la delimitación de propiedades.

En el ámbito de la ciencia, el desarrollo de los sistemas de referencia estuvo ligado a la Geodesia, en relación con problemas tales como la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, y a la Astronomía, en que se persigue la validación de teorías físicas o su refinamiento a partir de mediciones de las posiciones de objetos celestes. Fue finalmente el interés por la navegación en el último cuarto del siglo XX el que aportó los recursos que resultaron en el desarrollo actual de los sistemas de referencia terrestres.

Antes de la era espacial, distintos sistemas de referencia, apropiados a las necesidades arriba mencionadas, se desarrollaron independientemente; En la Astronomía se encaró el problema de la forma más general, ya que para esta ciencia se presentaba de la forma más compleja; desarrollar sistemas de referencia que sirvieran para expresar las posiciones de los objetos celestes que eran observadas desde la Tierra. Esto requiere conocer suficientemente bien los movimientos de la Tierra como para expresar las posiciones de objetos y observadores respecto de un sistema inercial, que permita una descripción sencilla de fenómenos físicos de interés, como por ejemplo el movimiento orbital de los planetas. Estas investigaciones dieron un gran impulso al conocimiento de la rotación terrestre. Debido a que en Astronomía se pueden medir direcciones a los objetos con mucha exactitud pero no las distancias hasta ellos, los sistemas de referencia celestes solamente definen la orientación de los ejes coordenados, pero no definen la escala, siendo asimismo la posición del origen del

sistema prácticamente arbitraria. Paralelamente, la geodesia clásica desarrolló para sus fines, sistemas de referencia terrestres que, debido a las limitaciones de las técnicas disponibles, mantenían una exactitud aceptable en regiones de a lo sumo algunos cientos de kilómetros y encontraban un obstáculo insalvable en los océanos. En la mayoría de los países se utilizaron estos sistemas de referencia como base para el ordenamiento de la información catastral y la cartografía.

A fines de la década del '50, el comienzo del uso de los satélites artificiales, y más tarde, la disponibilidad de relojes muy precisos, marcaron un punto de inflexión en la historia de los sistemas de referencia. Las órbitas de los satélites materializan naturalmente el centro de masa de la tierra como uno de los focos de sus órbitas. Los relojes atómicos permitieron la medición del tiempo de propagación de ondas electromagnéticas entre dichos vehículos y la Tierra, con precisión mejor que un nanosegundo. Estas herramientas, sumadas a las ya existentes y complementadas por la disponibilidad de computadoras cada vez más veloces, dieron lugar a la construcción de una nueva generación de sistemas de referencia en la Astronomía y la Geodesia. En particular ya no puede hablarse de ellos como entes separados siendo que cada uno necesita del otro para poder ser materializado con la exactitud que las herramientas de medición actuales requieren. Los nuevos sistemas terrestres son por naturaleza globales, su orientación en el espacio proviene mayormente de los sistemas celestes de la Astronomía, mientras que su escala y origen son aportados por determinaciones de posiciones de satélites artificiales.

Los sistemas de referencia modernos han alcanzado una precisión de pocos centímetros. Esto requiere no solamente modelar el movimiento de la Tierra en el espacio, sino también tener en cuenta movimientos mucho más sutiles pero que afectan en forma notoria a las posiciones de las estaciones de observación terrestres. Así ha sido necesario, por ejemplo, complicar el modelo de corteza terrestre: el uso de un modelo de corteza terrestre rígida ocasionaría la imposibilidad de integrar observaciones realizadas con algunos años de diferencia en el mismo sitio sin degradar el sistema ya que las placas tectónicas tienen movimientos y deformaciones del orden de algunos centímetros por año. Esto obliga a un replanteo de lo que se considera como corteza terrestre, ya que al estar en movimiento es preciso separar a este de la rotación terrestre propiamente dicha. Los nuevos sistemas de referencia impulsan el conocimiento de la geodinámica global aportando mediciones directas de las velocidades de deriva de las placas tectónicas e incluso detectando deformaciones regionales en los márgenes activos de los continentes, donde estas son más intensas. [2]

III. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

En el presente proyecto se trabajó con información correspondiente a las siguientes estaciones de monitoreo continuo procedentes de la red IGS: AREQ (Arequipa), BOGT (Bogotá), BRAZ(Brasil), RIOP (Riobamba), como se puede observar en la figura 1.

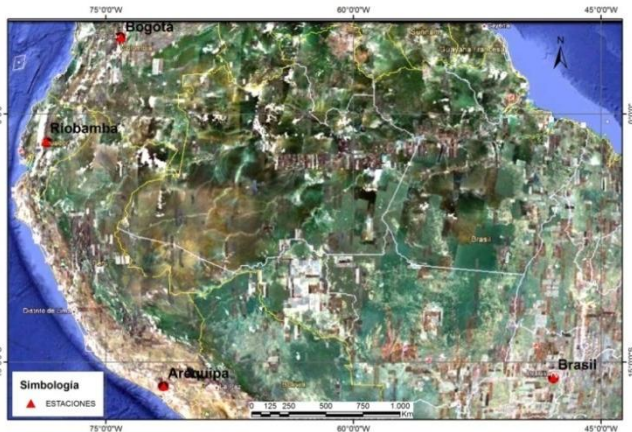


Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo continuo del IGS utilizadas para el procesamiento. Fuente: imagen google earth.

De forma general se realizaron las siguientes actividades ver figura 2:

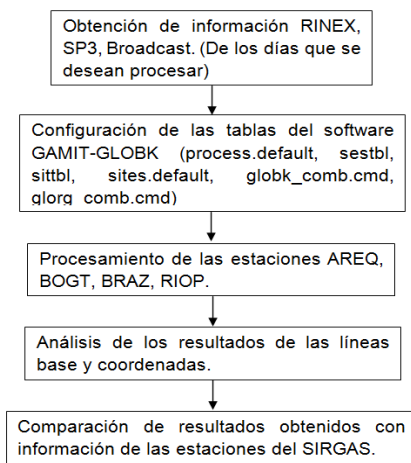


Figura 2. Cronograma de actividades

Características generales de procesamiento según la guía para los centros de análisis SIRGAS:

1. Intervalo de muestreo: 30 segundos;
2. Máscara de elevación: 3°;
3. Ponderación de las observaciones: asignar peso a las observaciones en función de la elevación, a menor elevación, menor peso. Aquellos Centros de Procesamiento que no puedan incluir este tipo de ponderación, deberán utilizar como máscara de elevación 15°;
4. Introducir, como parámetros conocidos en el ajuste, las órbitas satelitales, las correcciones a los relojes de los satélites y los parámetros de orientación terrestre contenidos en las soluciones finales del IGS. Estos productos se encuentran disponibles en http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html;

5. Utilizar los valores absolutos de las correcciones a las variaciones de los centros de fase de las antenas GNSS publicados por el IGS, incluyendo los valores dependientes de la elevación. Éstos se encuentran disponibles en http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/station/general/pcv_archive/. La combinación de antenas con cubiertas protectoras (radomes) debe ser estrictamente considerada en la aplicación de las correcciones a las variaciones de los centros de fase. La identificación de los equipos (receptor + antena) con la que se hace el procesamiento, debe coincidir estrictamente con el contenido de los site log files, los cuales pueden ser consultados en: <ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/station/log>. Una tabla actualizada de los equipos de las estaciones SIRGAS-CON en formato Bernese (AMSUR_YYYYMMDD.STA) puede obtenerse en <ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/station/STA>;

6. Desplazamiento por mareas: debe corregirse el movimiento periódico de las estaciones generado por la carga oceánica. Para el efecto, las correcciones deben estimarse con el modelo de mareas oceánicas FES2004. Dichas correcciones pueden obtenerse de M.S. Bos y H.-G. Scherneck en el sitio web <http://www.oso.chalmers.se/~loading/>.

7. Refracción troposférica: el retardo de la señal en el cenit de la estación causado por la refracción troposférica (parte húmeda) debe calcularse simultáneamente con las coordenadas de la red a un intervalo de dos horas, es decir, doce valores de corrección troposférica por cada día y por cada estación. Para obtener el retardo total y en todas las direcciones (no solamente en el cenit) se recomienda utilizar la función de interpolación (mapping function) de Niell, utilizando ± 5 m como sigma a priori para el primer valor absoluto y ± 5 cm para los once valores relativos siguientes;

8. Para generar la solución final, se recomienda hacer que las ambigüedades de fase correspondan con un número entero;

9. Las características de procesamiento no mencionadas explícitamente en esta sección, se dejan a discreción de los Centros de Análisis [3]

Bajo estas condiciones se procesaron las semanas GPS 1632 hasta la 1650 pertenecientes a los meses de abril a agosto del 2011.

Programas utilizados:

GAMIT es un programa de análisis GPS para la estimación de líneas base, coordenadas y velocidades de estaciones, así como la representación estocástica o funcional de deformaciones, retardos atmosféricos (y vapor de agua precipitable), órbitas de satélites y parámetros de orientación terrestres (EOPs).[4]

GLOBK es un programa para combinar soluciones de distintas redes (GPS, VLBI, SLR) y distintas épocas en una solución única, e imponer a esta solución un marco de referencia apropiado. Los datos de entrada son estimaciones de coordenadas, datos orbitales y de rotación terrestre, junto con sus matrices de covarianza, sin condicionar (ajuste libre), en

formato h-file (procedentes de GAMIT) o en formato estándar SINEX, así como un fichero con las coordenadas y velocidades de las estaciones que definen el marco de referencia. GLOBK utiliza la técnica de filtro de Kalman para combinar las soluciones y ajustar el marco de referencia, dando como resultados coordenadas y velocidades de los vértices de puntos posicionados con GPS. [5]

IV. RESULTADOS

Una vez procesadas las 19 semanas GPS de las estaciones AREQ, BOGT, BRAZ y RIOP se procedió a comparar dichos resultados con datos oficiales publicados en la página web de SIRGAS correspondientes a las mismas estaciones durante el mismo periodo de observación. Obteniéndose como resultado de este análisis la exactitud en las coordenadas cartesianas geocéntricas finales de cada estación así como su respectivo error referido a la distancia en cada línea base (6).

A continuación se muestra en la tabla 1, los resultados obtenidos del análisis.

Tabla 1: Resultados estadísticos de las diferencias entre coordenadas finales oficiales de SIRGAS respecto a las coordenadas procesadas con software científico GAMIT/GLOBK.

AREQ				
	$\Delta X(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$\Delta Z(\text{mm})$	error XYZ (mm)
máximo	3,8	-2,8	-1,9	13,4
mínimo	-0,7	-12,3	-6,7	5,8
media aritmética	1,3	-6,3	-4,4	8,1
desviación estándar	1,5	2,5	1,3	2,3
BOGT				
	$\Delta X(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$\Delta Z(\text{mm})$	error XYZ (mm)
máximo	-14,5	10,8	-4,6	21,8
mínimo	-17,6	4,7	-10,8	17,8
media aritmética	-16,0	6,9	-7,8	19,3
desviación estándar	0,8	1,7	1,8	1,1
BRAZ				
	$\Delta X(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$\Delta Z(\text{mm})$	error XYZ (mm)
máximo	-3,4	5,3	6,1	14,9
mínimo	-12,4	-4,0	0,9	5,5
media aritmética	-8,6	1,1	3,9	10,1
desviación estándar	3,0	3,4	1,6	3,3
RIOP				
	$\Delta X(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$\Delta Z(\text{mm})$	error XYZ (mm)
máximo	-5,5	3,6	-7,4	14,4
mínimo	-9,9	-6,9	-12,2	10,7

media aritmética	-7,2	-1,2	-10,1	12,9
desviación estándar	1,1	3,2	1,5	1,1
TOTAL				
máximo	3,8	10,8	6,1	21,8
mínimo	-17,6	-12,3	-12,2	5,5
media aritmética	-7,6	0,1	-4,6	12,6
desviación estándar	6,5	5,5	5,6	4,7

A continuación se muestra en la tabla 2, los resultados de las 6 vectores conformadas por las 4 estaciones.

Tabla 3.10: Distancias euclidianas a partir de coordenadas procesadas con GAMIT/GLOBK.

semana GPS	AREQ-BOGT (m)	AREQ-BRAZ (m)	AREQ-RIOP (m)
1632	2339031,636	2508497,235	1811362,531
1633	2339031,636	2508497,235	1811362,531
1634	2339031,638	2508497,234	1811362,533
1635	2339031,638	2508497,235	1811362,533
1636	2339031,636	2508497,235	1811362,532
1637	2339031,637	2508497,234	1811362,534
1638	2339031,638	2508497,235	1811362,534
1639	2339031,639	2508497,236	1811362,534
1640	2339031,639	2508497,237	1811362,534
1641	2339031,64	2508497,237	1811362,534
1642	2339031,64	2508497,237	1811362,534
1643	2339031,64	2508497,237	1811362,535
1644	2339031,64	2508497,239	1811362,535
1645	2339031,641	2508497,24	1811362,536
1646	2339031,64	2508497,24	1811362,536
1647	2339031,642	2508497,242	1811362,537
1648	2339031,641	2508497,244	1811362,536
1649	2339031,643	2508497,243	1811362,538
1650	2339031,642	2508497,242	1811362,536

Se detalla a continuación los errores obtenidos en las líneas base en el lapso de 19 semanas con respecto a vectores obtenidos a través de información de SIRGAS (ver tabla 3)

Tabla 3: Resultados estadísticos de las diferencias entre Líneas Base (vectores) a partir de coordenadas finales y coordenadas procesadas por GAMIT/GLOBK.

	areq-bogt (mm)	areq-braz (mm)	areq-riop (mm)	bogt-braz (mm)	bogt-riop (mm)	braz-riop (mm)
máximo	-2,3	-2,0	-2,2	-3,2	0,0	-2,2
mínimo	-6,7	-6,8	-4,3	-6,6	-3,5	-8,4
media aritmética	-3,7	-4,7	-3,1	-4,9	-1,9	-5,9
desviación estándar	1,4	1,3	0,6	1,1	1,0	1,7

V. CONCLUSIONES

A continuación en la figura 2, se detalla la ubicación de las estaciones junto con la conformación de los vectores analizados y sus respectivos errores.



Figura 2: Estaciones procesadas y sus respectivas líneas base.
Fuente: Imagen google earth

Al realizar un análisis en las líneas base se pudo determinar que en particular el error es directamente proporcional con respecto a la distancia para ello se tomó a la estación RIOP como centro, en la cual se muestra en la figura 3, la conformación y estudio de 3 vectores.

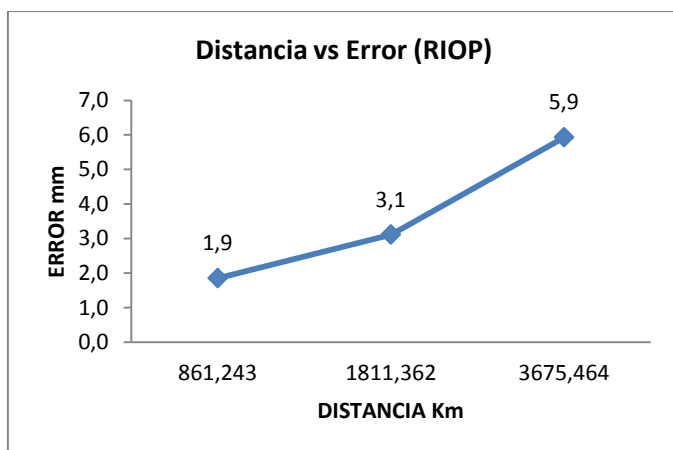


Figura 3.3: Distancia en Km vs Error en mm tomando como centro a la estación RIOP

- Al realizar la comparación entre coordenadas finales publicadas por SIRGAS con las coordenadas procesadas con el software científico GAMIT/GLOBK se determinó que el error promedio de cada una de las estaciones en estudio pasaron la exactitud requerida al tener un error promedio inferior a los 2 cm propuestos en esta tesis. Es necesario indicar que la mejor estación fue Arequipa con un error promedio de $\pm 8,1$ mm seguida por la estación de Brasil con $\pm 10,1$ mm de error promedio, a continuación la estación Riobamba con 12,9 mm y la estación Arequipa con un error promedio de $\pm 19,3$ mm que aún está bajo los ± 2 cm de error establecidos como límite. Hay que recalcar que el error promedio de todo el proceso es de $\pm 12,6$ mm lo cual sugiere un buen resultado respecto a la exactitud de las coordenadas procesadas.
- Al analizar las líneas base que a mayor distancia, mayor es el error en los vectores puesto que en las líneas base estudiadas es notorio el incremento del error conforme la longitud aumenta, siendo el más evidente el caso de los vectores Riobamba – Bogotá con una longitud aproximada de 861 Km y un error promedio de -1.9 mm siendo este el vector más pequeño y Brasil-Riobamba con un error promedio de -5,9 mm en una línea base con una longitud aproximada de 3675 Km perteneciendo esta al vector más grande.
- Es importante también dar a conocer que en el procesamiento de las coordenadas cartesianas obtenidas con el software científico GAMIT/GLOBK, se las pudo definir al marco de referencia el cual fue ITRF08.

REFERENCIAS

- [1] Mackern, Virginia, Materialización de un Sistema de Referencia Geocéntrico de alta precisión mediante observaciones GPS, Tesis Doctoral, FCAG, Universidad Nacional de La Plata, 2003.
- [2] Moirano J., Materialización del Sistema de Referencia Terrestre mediante observaciones GPS. Tesis doctoral. FCAG. UNLP. 2000.
- [3] SIRGAS, Guía para los Centros de Análisis SIRGAS, Versión 1.2, julio 12 de 2011
- [4] T. A. Herring, R. W. King, S. C. McClusky*, GAMIT Reference Manual, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, Julio 2011.
- [5] T. A. Herring, R. W. King, S. C. McClusky*, GLOBK Reference Manual, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, Julio 2011.