

ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DEL PUNTO ETCG CON BASE EN MEDICIONES GPS Y DENTRO DEL SISTEMA MUNDIAL ITRF

Jorge Moya Zamora

Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional.
Heredia, Costa Rica

ABSTRACT

The variation of the ellipsoidal position of the ETCG point was determined using two different epochs of GPS measurements, after its first tieing to The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) in 1998. As a product of this tie, the ETCG position was obtained with high accuracy, with errors in the adjusted coordinates on the order centimeter, which leaves open the possibility to make new measurements and to study the motion that happens in that particular point with high accuracy.

In this investigation, two types of new links were made to the world system, by means of differential GPS measurements, one made in mid 1999, and the other, at the end of the year 2000. The results show that within the period selected, a three-dimensional motion existed in the ETCG point, however considering only the coordinates of latitude and longitude, the resultant motion was not statistically significant.

RESUMEN

Con el fin de estudiar la variación en la posición elipsoidal del punto ETCG, se hicieron mediciones GPS en dos épocas diferentes, después de que dicho punto se vinculó por primera vez al sistema mundial, Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), en el año 1998. Como producto del primer amarre, se obtuvo la posición de ETCG con una gran exactitud, al tener errores en las coordenadas ajustadas del orden centimétrico, lo cual dejó abierta la posibilidad de realizar nuevas

mediciones y estudiar el movimiento que sufre el punto, con un alto grado de exactitud. En la investigación realizada se hicieron dos nuevos amarres al sistema mundial mediante mediciones GPS en la modalidad diferencial, uno a mediados del año 1999 y otro a finales del año 2000. Los resultados demuestran que en el período considerado existió un movimiento tridimensional significativo del punto ETCG, sin embargo, considerando solo las coordenadas de latitud y longitud, el desplazamiento resultante no es estadísticamente significativo.

INTRODUCCIÓN

En el mundo existen redes que emplean las más modernas técnicas de medición de la geodesia satelital, como por ejemplo, VLBI, LLR, SLR, DORIS y GPS. El conjunto de las coordenadas tridimensionales de estas estaciones situadas alrededor del mundo, así como su correspondiente velocidad, conforman el denominado Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). La posición de las estaciones es determinada en muchos de los casos con una exactitud centimétrica o mejor, lo que representa una gran confianza si se consideran las distancias que existen entre algunas estaciones. Esta exactitud permite actualmente estudiar tanto la deriva continental en lo que respecta al movimiento de las placas tectónicas como otras formas de movimiento local en la corteza terrestre.

En este artículo se describe la metodología que se empleó para el estudio de deformación de orden milimétrico del punto ETCG, con base en mediciones diferenciales GPS y dentro del sistema

mundial ITRF. El punto utilizado para llevar a cabo la investigación se encuentra en la torre de observación de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia de la Universidad Nacional en Heredia, Costa Rica. Este punto formó parte, junto con otros puntos localizados, uno en el edificio del Catastro Nacional y otro en La Cruz, en la zona norte de Costa Rica, de un proyecto de investigación anterior desarrollado por la escuela, en el que se hizo un estudio comparativo del datum convencional y el datum satelitario. Dicho proyecto generó también como uno de sus productos el enlace, por primera vez, de una red GPS costarricense al sistema mundial ITRF (Dörries y Roldán 1999). En la Figura 1 se puede apreciar el pilar que contiene la placa del punto de estudio ETCG, y sobre ella la antena geodésica GPS utilizada en las mediciones.

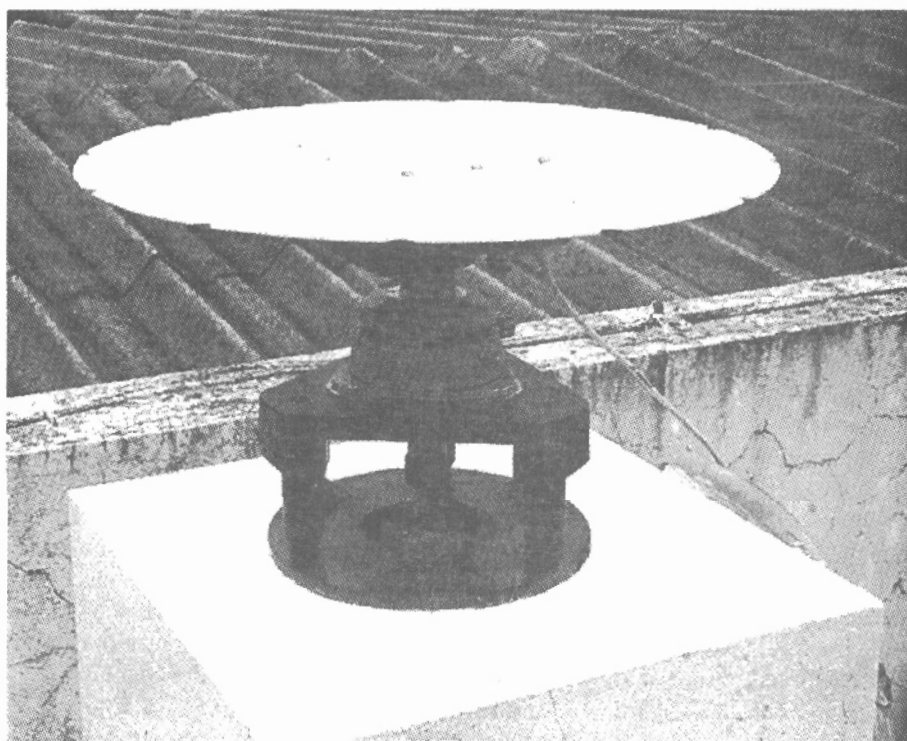
En el primer amarre al sistema ITRF se obtuvo una exactitud en las coordenadas elipsoidicas ajustadas de latitud y longitud de los tres puntos, en el orden de los 7 mm y 9 mm y de aproximadamente 18 mm en la parte vertical. La alta exactitud lograda en la posición del punto ETCG, sobre todo en sus componentes horizontales, dejó abierta

la posibilidad de continuar realizando mediciones para poder efectuar estudios.

La información anual del sistema ITRF se publica en las denominadas Notas Técnicas, en las que se describen los modelos empleados en la elaboración y se da un listado de las coordenadas cartesianas tridimensionales y la desviación estándar para cada una de las estaciones que conforman el sistema, tabuladas con base en el tipo de medición empleada. Además, se publican los valores de la velocidad para cada una de las componentes, así como su desviación estándar.

El sistema toma en cuenta la dinámica terrestre, por lo que las coordenadas son válidas para una época específica, la de la publicación, y por medio de los parámetros de velocidad se puede calcular la posición de las estaciones ITRF para cualquier otra época. Como en cualquier análisis de deformación por métodos geodésicos, es necesario tener al menos dos épocas de medición del objeto de estudio, las cuales generan coordenadas del mismo que son comparadas posteriormente. Las diferencias entre ambos conjuntos de coordenadas se someten a pruebas estadísticas para verificar su significancia.

Figura 1. Pilar que contiene la placa del punto de estudio ETCG, y sobre ella la antena geodésica GPS utilizada en las mediciones.



MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología con la que se trabajó en el punto ETCG contempló básicamente la realización de dos nuevas campañas de medición GPS, referenciando ambas épocas al mismo sistema ITRF y comparando las diferencias en las coordenadas ajustadas. En las siguientes etapas se describe el procedimiento empleado en esta investigación.

Elección de las estaciones ITRF de amarre.

De acuerdo con la distribución estratégica de las Estaciones de Operación de Recepción Continua (CORS) y tomando en cuenta aspectos como la continuidad en la medición y la exactitud en la posición, se diseñó la red de amarre. En la Figura 2 se muestra la red utilizada en 1998 para el primer enlace del punto ETCG al sistema mundial, cuyos puntos tienen una exactitud en latitud y longitud de aproximadamente 0,50 mm.

Se utilizaron seis estaciones ITRF con los nombres MDO1, RCM6, ubicadas en Fort Ord y Richmond en Estados Unidos, CRO1 en la Isla Sainte Croix en el Caribe, BOGT en Bogotá, Colombia, AREQ en Arequipa, Perú y GALA en la Isla Galápagos en el Pacífico. Por la naturaleza del estudio se trató de conservar las estaciones originales, sin embargo, en las dos campañas posteriores al primer enlace, el diseño de la red tuvo que ser variado, ya que los puntos BOGT y RCM6 dejaron de brindar información, motivo por el cual se incluyó el punto suramericano KOUR, localizado en la Guyana Francesa.

Establecimiento de los períodos de medición. La metodología propuesta contempló la utilización de los datos resultado de dos períodos de medición en el punto ETCG: el del proyecto de datum y el de la nueva de la investigación. En el proceso de medición se utilizó un receptor GPS de dos frecuencias y antena geodésica. Se programaron sesiones de medición de 12 horas, empezando a las 18:00 horas de tiempo local que corresponden a las 00:00 de

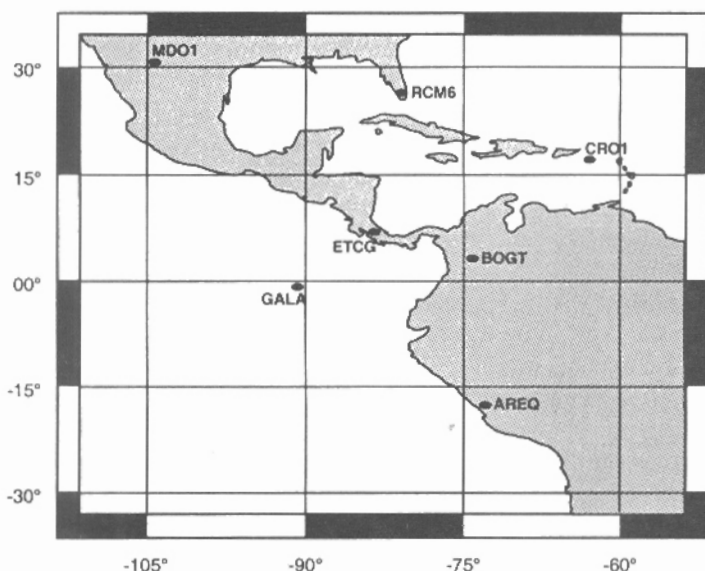


Figura 2. Red utilizada en 1998 para el primer enlace del punto ETCG al sistema mundial, cuyos puntos tienen una exactitud de 0,50 mm en latitud y longitud.

UT, para cada uno de los días de las campañas. Ambas campañas abarcaron aproximadamente dos semanas, trasladando los datos de cada día de medición como archivos al computador, para la posterior generación de los vectores espaciales. Cada sesión de medición en ETCG origina cuatro archivos diferentes, con la información de la medición, del modelo ionosférico, del mensaje de navegación y el de efemérides transmitidas.

Captura de los archivos de las estaciones ITRF.

Las estaciones del sistema ITRF miden continuamente sesiones de 24 horas, y sus archivos se ocupan junto a los de las mediciones GPS realizadas en el punto ETCG. Los archivos están disponibles en internet, son de dominio público, y se encuentran comprimidos en el formato rinex. Cada estación genera dos tipos de archivos, los de extensión [.nav] y los de extensión [.obs], los cuales contienen la información satelital necesaria y los datos de la estación CORS correspondiente; ambos archivos son necesarios para efectuar la elaboración y para poder calcular los vectores entre los puntos. La disponibilidad de estos archivos es prácticamente inmediata, se encuentran al día siguiente de haber concluido la medición.

Cálculo de los vectores GPS. En la metodología GPS diferencial estática se determina el vector tridimensional o distancia espacial entre dos puntos con base en la información registrada por cada una de las estaciones. El cálculo de este vector se efectúa con ayuda del programa de elaboración que es suministrado por el fabricante del equipo, necesitando en este caso, tanto los archivos rinx, .nav y los .obs de las estaciones ITRF como el archivo de extensión [.dat] de la estación ETCG. Para mejorar la calidad de los resultados, el cálculo de cada uno de los vectores se realizó contemplando los archivos de efemérides precisas, en lugar de hacerlo con los de efemérides transmitidas utilizados en la mayoría de los procesos por su accesibilidad inmediata. Estos contienen la posición calculada a posteriori de los satélites para cada día. Están disponibles aproximadamente dos semanas después de haber efectuado la medición en internet. Con ellos se procedió a realizar el cálculo de los vectores espaciales seleccionados, es decir, los determinados entre el punto de estudio ETCG y las estaciones ITRF de amarre, como se puede apreciar en la Figura 3.

Transformación de las coordenadas de las estaciones ITRF. El marco de referencia utilizado en este estudio es el ITRF97, que en ese momento era el más actualizado. Las mediciones en el punto ETCG se realizaron en los años 1999 y 2000, por lo tanto, fue necesario que las coordenadas de los puntos del sistema de referencia se transformaran a las épocas de medición. La transformación de coordenadas con base en los valores de velocidad en cada una de sus componentes se programó en hoja electrónica de cálculo, mediante la generación

de un macro, lo cual es relativamente sencillo, ya que las coordenadas de las estaciones están en unidades lineales y los valores de velocidad se expresan en milímetros por año.

Para una mejor representación del comportamiento del sistema como tal, se debe hacer una transformación de coordenadas geodésicas cartesianas actualizadas [X, Y, Z] a coordenadas geodésicas elipsoidicas actualizadas [φ, λ, h], las cuales son las que en definitiva se van a analizar.

Proceso de ajuste. En la metodología se planteó la realización de un proceso de ajuste de observaciones mediatas. Las coordenadas actualizadas de los puntos de la red ITRF se asumen como fijas, debido a su alta exactitud, y como punto nuevo el objeto, en este caso el punto ETCG. El proceso de ajuste se realiza en el programa de elaboración y toma como observaciones las tres componentes elipsoidicas de cada uno de los vectores GPS calculados, es decir, el azimut, la distancia y la diferencia de altura. Del ajuste se obtienen como resultado las coordenadas tridimensionales ajustadas del punto ETCG y sus desviaciones estándar, así como las observaciones ajustadas, sus exactitudes y otros elementos de análisis.

Pruebas estadísticas. Después de depurar los ajustes de cada una de las épocas de medición se tienen diferentes conjuntos de coordenadas ajustadas del mismo punto. Asumiendo que las coordenadas obtenidas del primer enlace de ETCG en 1998 al sistema ITRF en el año 1998 por parte del proyecto datum, como la posición inicial, se deben analizar las variaciones en sus coordenadas para las dos épocas posteriores. Un análisis estricto de deformación,

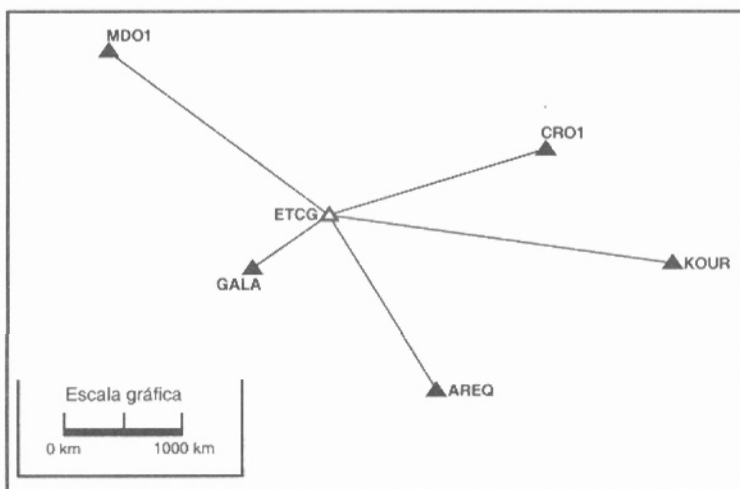


Figura 3. Vectores espaciales entre los puntos ETCG y las estaciones ITRF.

como el descrito en Pelzer (1985), implica conocer la totalidad de la matriz de varianzas covarianzas de las incógnitas ajustadas; lamentablemente los programas utilizados para la elaboración solo brindan la diagonal de dicha matriz. Sin embargo, se aplicó una prueba similar que considera la significancia para la diferencia d de dos promedios y su correspondiente desviación estándar sd , con los cuales se calcula el valor de prueba t que sigue una distribución Student con un nivel de incertidumbre del 5% y f grados de libertad. El estadístico t se compara después con el cuantil q , que indica si existe cambio significativo o no. Básicamente, la prueba del vector desplazamiento se formula bajo dos hipótesis: la nula, que no haya cambio y la alternativa, que este sea significativo.

RESULTADOS

Con base en los datos de las dos campañas de medición GPS efectuadas en ETCG, y luego de haber transformado las coordenadas de las estaciones ITRF a la época de medición, se calcularon los vectores espaciales correspondientes, cuyas componentes elipsoídicas se toman como observaciones para realizar el proceso de ajuste y, de esta forma, obtener las coordenadas elipsoídicas ajustadas y su exactitud.

Los vectores de desplazamiento tridimensionales y bidimensionales calculados entre la posición de partida de ETCG en 1998, con respecto a las dos posteriores y su correspondiente análisis estadístico, demuestran que existió movimiento, pero el desplazamiento total en la parte horizontal no es significativo, con 95% de probabilidad.

DISCUSIÓN

La metodología aplicada confirma que se obtienen coordenadas ajustadas con una altísima

exactitud, suficiente para detectar cambios milimétricos en la posición de puntos. El proceso de cálculo para la elaboración de los vectores GPS con efemérides precisas influye fuertemente en los resultados. El proceso de ajuste es muy estricto en cuanto al tratamiento en la parte de pruebas estadísticas a las observaciones, ya que se cuenta con una gran cantidad de grados de libertad.

En el punto ETCG, la metodología permitió conocer un desplazamiento que resultó no significativo. Evidentemente, la metodología utilizada permite gran calidad de los resultados, además de trabajar dentro del sistema de coordenadas más exacto que existe. Muchas podrían ser sus aplicaciones en un país como Costa Rica, donde existe una gran actividad sísmica y tectónica, y se podrían implementar redes GPS para el estudio de estos y otros tipos de deformación.

REFERENCIAS

- Boucher, C. & Z. Altamimi. 1996. International Terrestrial Reference Frame. Institut Géographique National. Observatoire de Paris. Reimpresión por GPS World. Estados Unidos.
- Boucher, C., Z. Altamimi & P. Sillard. 1999. IERS Technical Note 27. The International Terrestrial Reference Frame ITRF97. Institut Géographique National. Terrestrial Frame Section Central Bureau of IERS. Observatoire de Paris. Francia. 191 p.
- Dörries, E. & J. Roldán. 1999. Estudio comparativo del datum geodésico de Ocotepique y el datum satelitario del sistema WGS84. Informe Final del Proyecto de Investigación. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 181 p.
- Moya, J. 2001. Desarrollo de una metodología de medición con el sistema de posicionamiento global GPS para el estudio cinemático de cuerpos en la superficie de la tierra. Trabajo Final de Graduación. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 188 p.
- Pelzer, H. 1985. Deformationsuntersuchungen auf der basis kinematischer bewegungsmodelle. Universität Hannover. Hannover, Alemania. 33 p. Traducción de Dipl.-Ing. Luis Aguilar Escalante, M.Sc. 1991.