

**Heinz Saler**

**Institute für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen**

**Universität Stuttgart**

**Stuttgart - Germany**

**Carlos Abad**

**Centro de Investigaciones de Astronomía**

**Apdo. Postal 264**

**Mérida 5101-A - Venezuela**

## **RESUMEN**

La constelación de satélites GPS ha sido utilizada para la determinación de la altura del Pico Bolívar. Se instalaron 3 receptores GPS. Uno de ellos en la cima del Pico Bolívar y los otros dos en dos puntos distintos de la ciudad de Mérida. La reducción de los datos obtenidos y referidos a un punto geodésico de Cartografía Nacional situado en el Aeropuerto de la ciudad de Mérida, dan como resultado la altura definitiva de 4980.8 metros, con un error de ( $\pm$ ) 0.8 metros.

Para la medición de puntos, especialmente de picos, existen varios métodos. El uso de barómetros es muy común entre montañeros, geógrafos y geólogos. Tienen la ventaja de que por sus pequeñas dimensiones y la facilidad de manejo y transporte, pueden ser ubicados en el propio punto a medir. Pero, por otro lado, deben ser calibrados con respecto a un punto bien conocido, en general, con condiciones atmosféricas diferentes a las del momento de la medición, influyendo en la exactitud de los resultados que suele ser de ( $\pm$ )20 m.

El método de intersección con teodolito utilizado por geodestas, supone la ubicación del teodolito en puntos exteriores al punto a medir, siendo los principales agentes que influyen en la precisión de las mediciones, aparte de la calidad de la observación, la refracción y la desviación de la vertical. En nuestro caso, donde un punto bien determinado por Cartografía Nacional, sería por ejemplo, un punto situado en el Aeropuerto de la ciudad de Mérida, la medición de la altura del Pico Bolívar tendría una precisión de ( $\pm$ ) 3 m.

Un tercer método clásico es el de la aerofotografía, pero que, en su aplicación a la topografía, no alcanza mejores resultados.

Desde hace algunos años existe un nuevo método, que consiste en la utilización de satélites para la determinación de posiciones.

El sistema GPS (Global Positioning System), financiado por el ministerio de defensa (DoD) de los Estados Unidos, está basado, en la actualidad, en la puesta en órbita de 24 satélites, moviéndose sobre 6 planos diferentes y donde sus órbitas cumplen ciertas características, de forma que siempre exista sobre el horizonte al menos un número determinado (no menor de 4) de ellos. Estos satélites transmiten una señal, donde una parte de ella puede ser decodificada si se posee el receptor adecuado para ello. Esta parte contiene información sobre el momento de salida de la señal desde el satélite, los elementos orbitales del mismo, y otras más como, por ejemplo, el status de todos y cada uno de los satélites.

La utilización de este sistema está ya ampliamente extendida en navegación, siendo indispensable actualmente para el posicionamiento de los barcos durante las travesías. En una forma automática e instantánea la posición es obtenida, en su forma más sencilla, con una precisión menor a los 100 metros. Suficiente para estos fines.

Una precisión mayor se obtiene si se utilizan dos bandas de recepción, (de 19 cm. y 24 cm.) y si la solución es calculada en forma relativa y no en forma absoluta. Esto último requiere la utilización de dos receptores, determinando la posición del uno respecto del otro. Este tipo de medición es mucho más precisa, ya que los errores en las órbitas de los satélites influyen por igual en ambos receptores y pueden ser si no eliminados, disminuidos grandemente y, por otro lado, la medición del número de ondas que se reciben es más precisa que la medición del tiempo (código) que tarda la señal en llegar al receptor. La precisión ahora se expresa no en centímetros o en metros, sino en partes por millón, llegando a precisiones que en el caso donde los receptores esten alejados unos cuantos kilómetros, ésta, estaría en el orden de los milímetros (millonésimas de km.). El sistema nos da posiciones relativas (diferencias entre coordenadas tridimensionales), siendo la diferencia de alturas la peor determinada, del orden de 2 a 3 veces peor. Esto se nota mucho más cuando la determinación de posiciones relativas incluyen una gran diferencia en altura, pues la distribución de la temperatura y la humedad entre ambos receptores es a veces irregular. La utilización de las dos bandas tiene la finalidad de eliminar los problemas que la ionosfera introduce al ser atravesada por las ondas.

Los datos que se obtienen de la observación son las diferencias de fase entre la onda emitida por el satélite y medida por el receptor y la del oscilador que lleva el receptor, para un mismo instante. Esta diferencia puede expresarse en función de varios parámetros (a calcular), entre los que se encuentra la distancia satélite-receptor.

El conjunto de estas diferencias u observables puede tratarse de diferentes formas, que se denominan como *simples, dobles o triples diferencias*, según se aproveche el hecho de que durante la observación: a) un mismo satélite es observado en un mismo instante por dos receptores distintos, b) dos satélites son observados por dos receptores en el mismo instante, o c) que la observación de los dos satélites por los dos receptores se va a repetir a través del tiempo.

Cada uno de los tratamientos tiene sus ventajas, consiguiendo la eliminación total o parcial de algunos de los parámetros (incógnitas) que intervienen en la reducción.

## **SISTEMAS DE REFERENCIA**

Para explicar un poco qué es la altura de un punto hay que remarcar: ¿con respecto a qué?. Podemos hablar en este caso de tres sistemas de referencia. El propio sistema GPS, el elipsoide y el geoide.

La Tierra tiene una figura geométrica que no corresponde a una figura de revolución perfecta. Decimos que es como una esfera pero achatada por los polos, quizás se parece más a una pera, u otras definiciones. Lo que sí podemos es encajarla dentro de una de estas figuras geométricamente perfectas. El elipsoide se define como esa figura que mejor contiene a la forma real de la Tierra. Es sustituir la Tierra por otra ideal y sobre ella efectuar las mediciones. El geoide tiene una base menos matemática. Si unimos los puntos de la Tierra que tienen igual gravedad y esta gravedad es la que hay en la superficie del mar, se nos forma también una figura geométrica, pero ya no regular y perfecta, sino con deformaciones que suben y bajan dependiendo de la composición y de la densidad de la masa de tierra situada debajo de cada punto. Digamos que, el elipsoide es una figura matemática mientras que el geoide es una figura física. Y por otro lado, es posible crear un sistema propio de referencia. En el espacio, tres puntos que no estén alineados nos crean un sistema de referencia y podemos referir a él, cualquier otro punto del mismo. Los satélites de la configuración GPS crean su propio sistema que se llama WGS84 (World Geodetic System 1984).

De estos tres sistemas al que se suelen referir todas las mediciones es al definido por el geode. Nos da la altura sobre la superficie del mar.

## **OBSERVACION Y REDUCCION**

Se realizó una nueva campaña de mediciones para la determinación de los movimientos de la Falla de Boconó en un entorno al Observatorio Nacional. El proyecto está liderizado por la Universidad de Stuttgart y en él participa desde su creación el Centro de Investigaciones de Astronomía de Mérida. Esto dio la oportunidad a los autores del presente trabajo de disponer de tres receptores ASHTECH (LD-XII y MD-XII) con doble frecuencia. Esto y el deseo de subir al Pico Bolívar y efectuar su medición fueron suficientes para la realización del mismo.

El día 14 de marzo de 1993 un receptor GPS fue instalado en la cima del Pico Bolívar por dos horas, mientras que otros dos receptores habían sido ya instalados con anterioridad en dos puntos diferentes de la ciudad de Mérida. Al día siguiente, estos dos puntos de la ciudad fueron conectados con un punto geodésico situado en el Aeropuerto Alberto Carnevalli y para el cual Cartografía Nacional tiene bien determinada su altura.

Esa misma noche los equipos iniciaban el regreso a Alemania, lo cual impidió una primera reducción de datos en el País, siendo esta realizada por el Ing. Heinz Saler en el IAGB.

A pesar de que el volumen de datos que se recogieron fue alto (4Mbyte), el cálculo final fue más bien rápido. Para ello se utilizó el programa GPPS (Gps Post Processing Software) de ASHTECH, tratando los datos como dobles diferencias. Es decir, aprovechando el hecho de que dos satélites son observados en un mismo instante por dos receptores diferentes. Con ello se obtiene, principalmente, la eliminación de los errores de sincronización de los relojes de los receptores. Además de obtener la eliminación de parte de los errores sistemáticos del satélite, como son los referentes a las efemérides de sus órbitas o a las irregularidades en los relojes que transportan y la eliminación parcial del error que se comete al no modelar los retardos ionosféricos y troposféricos.

## **RESULTADOS**

## La altura del Pico Bolívar es $4.980,8 \pm 0,8$ m

Domingo, 18 de Enero de 2009 06:58

---

La solución, así obtenida, nos da las diferencias relativas entre el Pico Bolívar y el punto situado en el Aeropuerto, en el sistema WGS84. El cálculo de la inclinación de este sistema con respecto al sistema de Cartografía Nacional (elipsoide) se hizo utilizando puntos bien conocidos que relacionan ambos sistemas y que pertenecen a la red geodésica instalada en el páramo, alrededor del Observatorio Nacional, para el estudio del movimiento de la Falla de Boconó (Saler et al., 1992). La influencia de la masa de la montaña sobre la superficie del elipsoide, es decir, el paso de elipsoide a geode, se ha determinado usando un programa del IAGB.

Los resultados finales de Expresan en la siguiente tabla:

Diferencia de altura entre el aeropuerto de Mérida y el Pico Bolivar	
en el sistema WGS84	
+ 3.481,5 ± 0,3 m	
Tranformado al Sistema de Cartografía nacional (elipsoide)	
+ 3.482,2 ± 0,5 m	
Influencia de la inclinacion entre el elipsoide y geode	
- 0,9 ± 0,3 m	
	+ 3.481,3 ± 0,6 m

La altura del Aeropuerto sobre el geode
(Sobre el nivel del mar)
+ 1.499,5 ± 0,5 m

Altura del Pico Bilívar
4.980,8 ± 0,8 m

Hay que hacer remarcar que todos los cálculos están referidos a la altura del punto ubicado en el Aeropuerto, y que cualquier cambio en su altura influiría en la altura final del Pico.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer aquí la importante ayuda recibida de nuestro amigo y montañero Alfredo Rangel sin el cual no hubiéramos llegado a la cima y al personal del Teleférico de Mérida que desinteresadamente se puso a nuestra disposición, ayudándonos durante el tramo final, en el transporte del equipo necesario para la medición.

## **REFERENCIAS**

Saler, H., Linkwitz, K., 1992, *Informe sobre los trabajos geodésicos de la Geotravesía Andes Venezolanas*, Boletín Cartografía y Geodesia, No. 2, Maracaibo.

---

Transcrito en formato html por J. Hernán Ramírez R.