

HACIA UNA NUEVA REFERENCIA VERTICAL EN ARGENTINA

Juan Moirano, Claudio Brunini y Graciela Font
Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

Eduardo Lauria y Rubén Ramos
Instituto Geográfico Militar, Argentina

Resumen

El sistema de referencia vertical de la Argentina fue materializado mediante observaciones mareográficas del año 1924 realizadas en la ciudad de Mar del Plata. En la década del '40, el nivel de referencia fue vinculado a un punto geológicamente muy estable ubicado en la ciudad de Tandil, distante algo menos que 200 km del mareógrafo de referencia. Este punto constituye hasta hoy el origen de la red de nivelación de Argentina, cuyo primer orden ha sido completado en el año 2001 por el IGM, totalizando alrededor de 16000 puntos distribuidos a lo largo de varias decenas de miles de km de nivelación de alta precisión. Durante el largo periodo que demandó la ejecución de la red, a fin de atender las necesidades de alturas sobre el nivel del mar, el IGM produjo cotas provisionarias mediante el ajuste de los desniveles entre puntos fijos por anillos cerrados, avanzando secuencialmente desde el origen de la red hacia el interior del país.

Desde 1997, el Grupo de trabajo III, datum vertical, del proyecto SIRGAS, trabaja para lograr la materialización de un sistema de referencia vertical único en el continente americano. Esto implica la revisión y unificación de las materializaciones del nivel cero y sus densificaciones. En relación al último punto, el GTIII ha recomendado a los países participantes que calculen las cotas geopotenciales correspondientes a sus redes de nivelación en los casos en que cuenten con información gravimétrica. Siendo este último el caso de la Argentina, desde marzo de 2001, el IGM y la UNLP trabajan en cooperación a fin de lograr un conjunto consistente de cotas geopotenciales para la red de nivelación de primer orden. En el presente trabajo se describen las tareas realizadas y se muestran los resultados obtenidos.

Abstract

The vertical reference system for Argentina was realized through a series of tide gauge observations collected in Mar del Plata in the year 1924. Within the forties, the reference mark on the tide gauge was connected by high precision geodetic leveling to a highly more stable mark in Tandil, located less than 200 km to the west. This point remains today to be the origin of the national height system. This reference frame was extended to the whole country by high precision geodetic leveling. The first order network was completed in 2001 by IGM. It consists of roughly 16,000 points distributed along several tens of thousands kilometers of high precision geodetic leveling lines. The need of heights referred to the sea level during the long period the establishment of the network took, forced IGM to compute and deliver preliminary heights by sequentially adjusting the leveling observations in rings from the network origin and outwards.

Since 1997, SIRGAS Working Group III, vertical datum, works towards the establishment of a unified vertical reference frame for the American continent. This implies both the revision and unification of vertical reference realizations and their densifications. As regards the last item, GTIII has recommended to the participating countries to compute the geopotential numbers corresponding to their high precision leveling networks whenever measured gravity information is available. As this is the case for Argentina, since March 2001, IGM and UNLP work together to produce a consistent set of geopotential numbers for the national first order leveling network. This work describes the tasks already accomplished and shows the results obtained so far.

Introducción

El presente trabajo se desarrolla en el marco del acuerdo de cooperación existente entre la UNLP y el IGM para el mantenimiento del sistema de referencia nacional. Se encuadra además dentro de las actividades que la Argentina realiza en el marco del proyecto SIRGAS para la materialización de un sistema de referencia de alturas único en el continente americano.

La materialización de un sistema vertical continental requiere trabajos que el Grupo de Trabajo III de SIRGAS, "Datum Vertical" ha recomendado a los países participantes en 1998.

Un problema a resolver es la materialización del sistema de alturas. Esto se realizara mediante mareógrafos a lo largo de la costa del continente, que deben ser controlados con GPS para detectar posibles movimientos verticales seculares. Además, la altimetría satelital, permitirá tener en cuenta la topografía del mar en la definición del nivel cero. Este hecho permitirá la utilización de varios mareógrafos distantes entre si, sin perder exactitud. En este sentido, la FCAG realiza en la Argentina actividades desde 1998, controlando la altura de varios mareógrafos con GPS.

Otro problema a resolver es adecuar las densificaciones del nivel cero en cada país y las vinculaciones entre países a los objetivos del proyecto. Esto requiere el máximo aprovechamiento de las redes de nivelación de primer orden. A tal efecto, se recomendó su revisión, y la utilización de la información gravimétrica asociada a fin de calcular diferencias de cota geopotencial. Asimismo se recomendó realizar el ajuste de las redes de nivelación en términos de diferencias de potencial para, en una etapa posterior, calcular las cotas de todas las redes con un criterio uniforme que asegure la máxima compatibilidad de los sistemas de referencia verticales en el continente.

En línea con el último objetivo mencionado, el presente trabajo resume las actividades realizadas por la FCAG y el IGM durante los últimos meses para la digitalización y revisión de la información altimétrica, gravimétrica y planimétrica correspondiente a la red de nivelación nacional de primer orden. Se muestran algunas características relevantes del banco de datos en su estado actual, se mencionan los problemas a resolver en la prosecución de las actividades y algunas posibles soluciones.

Descripción de la red de nivelación y metodología de trabajo

La red de nivelación nacional de primer orden se extiende por la totalidad de territorio argentino (figura 1). Consiste de algo más que 370 líneas constituidas por secuencias de puntos de cota fija que distan entre si entre 3 y 9 kilómetros, totalizando aproximadamente 64000 kilómetros. Su construcción y medición demandó muchas décadas de esfuerzo a cargo del IGM, que sigue siendo la institución responsable de su actualización y mantenimiento.

Desniveles observados

Las mediciones se realizaron de manera que se satisfaga que el error de cierre en la nivelación de ida y vuelta entre puntos fijos no fuera mayor que 3mm multiplicado por la raíz cuadrada de las distancia nivelada en km. Detalles de la metodología aplicada en las mediciones pueden encontrarse en [D'Onofrio et al., 1999]. La red consta de un total de 16320 puntos. De ellos, aproximadamente 225 son nodales y el resto son puntos fijos.

Georreferenciación de la red

Prácticamente la totalidad de los puntos de la red cuenta con coordenadas geocéntricas. La mayoría tiene una exactitud de varios cientos de metros a pocos miles de metros por haber sido sus coordenadas extraídas de cartas. Mientras que las determinadas más recientemente con navegadores GPS tienen exactitudes mejores que un centenar de metros.

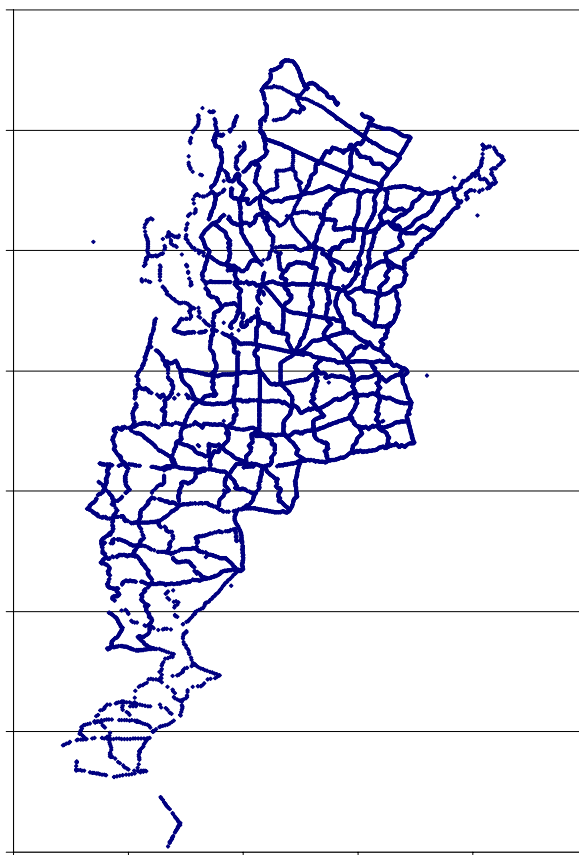


Figura 1: Red de nivelación de alta precisión

Información gravimétrica

De todos los puntos que conforman la red, alrededor de 13300 poseen valores de gravedad medida, lo que representa un 81% del total de la red. Esta falta de mediciones de gravedad afecta a varias decenas de líneas y constituye uno de los problemas a resolver antes de poder calcular las diferencias de cota geopotencial entre los puntos fijos.

Los valores de gravedad de los puntos fijos se encuentran referidos al marco de referencia IGSN71. Una gran parte de ellos se encontraba referida al marco POTSDAM. Se convirtieron a IGSN71 aplicado una corrección de -14.93 mgal a los valores medidos.

Tanto los valores de gravedad cuanto sus coordenadas planimétricas se encontraban ya en formato digital al comenzar este trabajo por lo que sólo se realizó en estos casos un trabajo de revisión e identificación de problemas.

Se decidió trabajar a partir de los desniveles calculados entre puntos fijos. La razón es que, dado que la mejora que se propone realizar respecto al cálculo de cotas existente es un ajuste simultáneo de toda la red incluyendo las correcciones gravimétricas, basta con trabajar a partir de ese nivel hacia escalas mayores. En consecuencia se establecieron las siguientes etapas de trabajo:

- a) Digitalizar la totalidad de los desniveles de la red de alta precisión.
- b) Revisar tanto desniveles cuanto sus valores de gravedad y coordenadas asociados.
- c) Analizar los problemas de la red en términos de valores faltantes y las posibles soluciones.
- d) Calcular las diferencias de cota geopotencial para todos los puntos de la red.
- e) Realizar un ajuste de la red completa en términos de diferencias de cota geopotencial.
- f) Estimar la exactitud de las cotas a obtener una vez transformados los resultados a diferencias de altura.

Al momento actual se han completado las tareas a y b y se encuentra en ejecución la etapa c. En función de los análisis realizados se están dando los pasos finales para la conformación de la base de datos definitiva que permitirá el cálculo de las diferencias de potencial.

A continuación se mostrarán algunas características relevantes de la red.

Resultados

Desniveles observados

Esta información fue completamente volcada a formato digital. Al momento de la digitalización, aun no estaban calculados los desniveles correspondientes a la últimas líneas de nivelación medidas por el IGM, ubicadas en la provincia de Santa Cruz. Esta información esta ya disponible y en breve será incorporada al banco de datos. La distribución de desniveles de la red puede verse en la figura 2. De ella es evidente que prácticamente toda la red de nivelación consta de desniveles que no sobrepasan los 200m y alrededor del 84% de los desniveles es inferior a 25m.

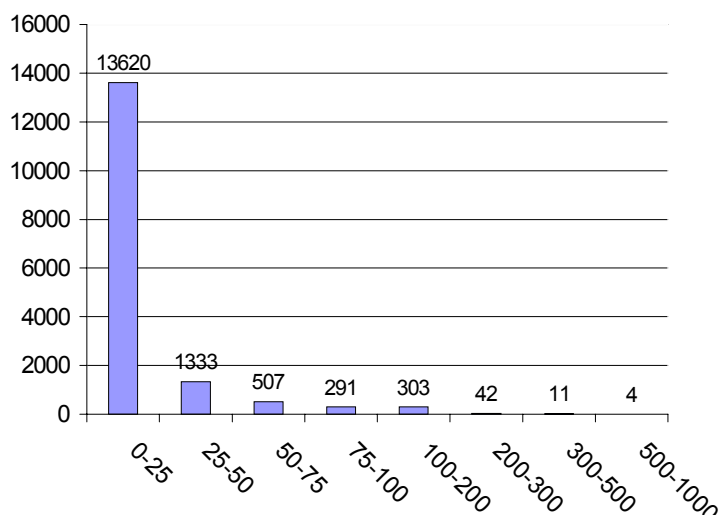


Figura 2: Distribución de los desniveles [m] entre puntos fijos

Datos gravimétricos

Existen líneas de nivelación con segmentos en los que no hay medidas de gravedad disponibles para todos los puntos fijos, e incluso algunas que no disponen de ningún valor de gravedad. El número de PF sin gravedad es aproximadamente 3300, equivalente al 20% de los puntos de la red. A fin de evaluar las alternativas posibles para la resolución de este problema se realizó un análisis de la distribución de los faltantes de gravedad. Se calculó el porcentajes de PF sin gravedad para cada línea y luego se organizó dicha información por frecuencia de aparición de cada porcentaje. Eso es lo que se muestra en la figura 3. Se

ve que para la mayoría de las líneas, el porcentaje de PF sin gravedad es inferior a 30. Además se analizó la distribución de huecos por número de puntos fijos consecutivos afectados, lo que se muestra en la figura 4. Se vio que existen 1201 huecos de gravedad en las líneas de nivelación. De ellos el 75% abarca solo un PF, y un 95% abarca hasta 6 PF. Los huecos más grandes, que son del orden de 50, abarcan incluso líneas enteras de hasta 100 PF.

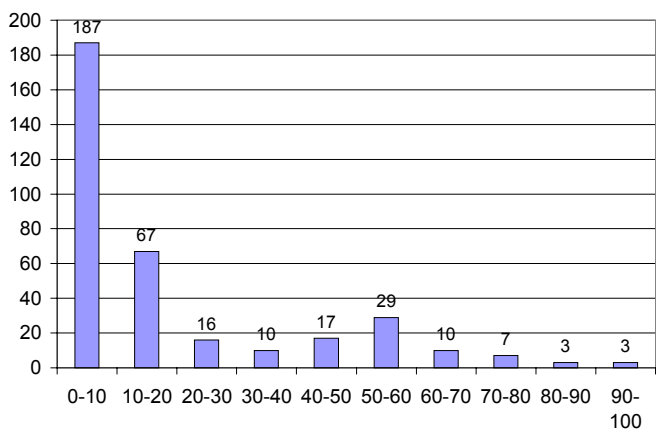


Figura 3: Distribución de porcentajes de PF sin gravedad por línea de nivelación

En referencia a la exactitud de los valores de gravedad de los puntos fijos se mencionó que se encuentran referidos al marco de referencia IGSN71. Aproximadamente el 95% una gran parte de ellos se encontraba referida a un marco anterior (POTSDAM). Se convirtieron a IGSN71 aplicado una corrección de -14.93 mgal a los valores medidos. Esta corrección se calculó en el punto datum del sistema por lo que podría cuestionarse su validez para el territorio argentino. Se cuenta sin embargo con un conjunto de algo más que 800 puntos en los que se dispone tanto del valor POTSDAM cuanto del valor IGSN71 medidos. Las diferencias entre los valores de g medidos en IGSN71 y los calculados a partir de valores

referidos a POTSDAM, tomada para estos puntos tiene un promedio de 0.2 mGal y una desviación estándar de 0.3 mGal. En consecuencia, es evidente que al transformación de los valores POTSDAM a IGSN71 utilizando el valor -14.95 mGal implica una exactitud no mejor que 0.2 mGal para los valores de gravedad.

Precisión: Los valores de gravedad de los puntos de nivelación podrían ser clasificados según el instrumento que se haya utilizado en las mediciones y según si las correcciones por marea han sido aplicadas. A lo largo de la historia de los trabajos de nivelación del IGM se utilizaron gravímetros Western, Worden y La Coste & Romberg. La precisión de las observaciones creció en ese sentido hasta llegar finalmente a las 0.2 mGal para la metodología utilizada en el establecimiento de estos puntos de gravedad, correspondientes al tercer orden.

Nivel de ocupación de la red

Con miras a la realización del ajuste de la red completa se analizó también el nivel de ocupación de los puntos nodales. Se vio que el nivel de ocupación promedio de los nodales es de 3.2 teniendo el 76% de los nodales, 3 o más ocupaciones.

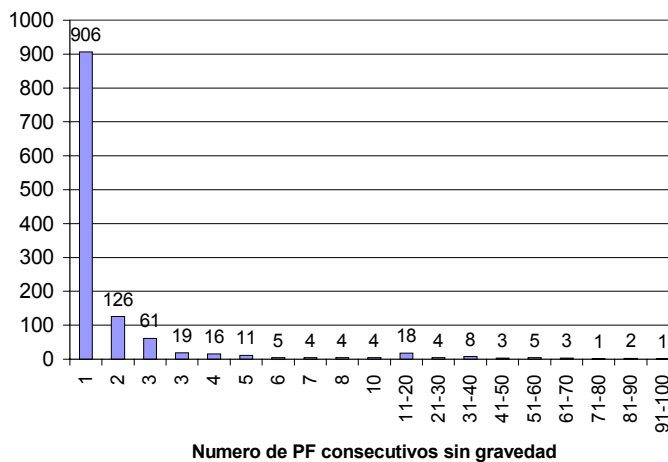


Figura 3: Distribución de huecos de gravedad según el número de PF afectados

Conclusiones y tareas futuras

Se ha conformado un conjunto de desniveles, coordenadas y valores de gravedad que conforman la red de nivelación de alta precisión en formato digital. Sólo falta adicionar unas pocas líneas faltantes para que quede conformado el banco de datos definitivo.

La distribución de desniveles de la red indica que son pocos los que tienen grandes variaciones de altura. Esto facilitará la estimación del error de los desniveles entre puntos fijos.

A partir de la distribución observada de los huecos de gravedad en las líneas se estima que la mayoría de ellos podrá ser reparada mediante la interpolación de valores de g vecinos. Los huecos que abarcan decenas de puntos fijos constituyen un problema para el que habrá que realizar pruebas. Una posibilidad podría ser la utilización de modelos regionales de g.

Una vez resueltos los problemas mencionados, se calcularán las diferencias de potencial entre puntos fijos para todas las líneas. La red tiene un nivel de ocupación que permitirá ajustar los desniveles de la gran mayoría de las líneas.

Previamente al ajuste final, se realizará una serie de ajustes por circuitos o grupos de circuitos a fin de detectar la presencia de observaciones discordantes, tomar decisiones acerca de los pesos relativos a asignar a las observaciones y evaluar métodos de extrapolación de valores de gravedad.

Los resultados de las evaluaciones antes mencionadas permitirán un óptimo diseño de la compensación de las diferencias de potencial para todos los circuitos la red.

Bibliografía

Brunini, C., Font, G., Galbán, F., Lauría, E., Pacino, M. C. y Rodríguez, R. The vertical reference system of the Argentine Republic. Enviado para su publicación en Vertical Reference Systems, International Association of Geodesy Symposia Series, Springer, Germany.

D'Onofrio, E., Fiore, M., Mayer, F., Perdomo, R. y Ramos, R. La referencia vertical. Contribuciones a la Geodesia en la Argentina de fines del siglo XX. Homenaje a Oscar Parachu, ISBN 950-673-201-9, pp. 99-128, UNR Editora, Antonio Introcaso (Ed.), Argentina, 1999.

Guallart, J., Lauría, E. y Ramos, R. La Actividad Gravimétrica del Instituto Geográfico Militar, Revista Cartográfica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, No 68, enero – junio de 1999.

Natali, M., Kaniuth, K., Brunini, C. and Drewes, H. Monitoring tide gauges in Argentina by GPS. Enviado para su publicación en Vertical Reference Systems, International Association of Geodesy Symposia Series, Springer, Germany.

Rodríguez, R. y Brunini, C. SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur. Vol. 7, Georeferenciación, en la serie Temas de Geociencias, ISSN 15144149, UNR Editora, pp. 32-50, (86), UNR Editora, Antonio Introcaso (Ed.), Argentina, 2001.