

## INTRODUCCIÓN

Desde hace más de 70 años el Instituto Geográfico Nacional de Argentina (IGN) viene realizando en forma sistemática la construcción de pilares de hormigón a lo largo de todo el territorio nacional, sobre los cuales se midió el desnivel geométrico y se efectuaron mediciones gravimétricas. El primer ajuste de la red se llevó a cabo en 1971. Esta tarea fue llevada a cabo por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DMA). Las líneas de nivelación construidas y medidas posteriormente fueron ajustadas a esta red original. El cálculo de nuevo ajuste con técnicas modernas se necesitaba para actualizar la red entera. Todos los libros de campo originales fueron digitalizados para recuperar la información correspondiente a los desniveles geométricos, a partir de la cual fue posible calcular los desniveles geopotenciales entre los nodos de la red, usando valores de gravedad medidos sobre los puntos. Luego, mediante el método de mínimos cuadrados, fue posible calcular el número geopotencial de los nodos, y luego la cota ortométrica de todos los pilares. Las recomendaciones del Grupo de Trabajo III de SIRGAS fueron tenidas en cuenta para el desarrollo de esta labor. El presente trabajo muestra los resultados que han sido obtenidos a la fecha camino hacia la nueva compensación de la Red Argentina de Nivelación.

## RED DE NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN

La red nacional de nivelación está referida al nivel medio del mar determinado por el mareógrafo de Mar del Plata en 1923. Está compuesta de aproximadamente 18000 pilares, de los cuales el 82% poseen valor de gravedad. Las líneas de nivelación de alta precisión dividen el territorio argentino en 158 polígonos cerrados. La red se desarrolla a la vera de rutas y caminos. Esa es la razón del trazado irregular de los polígonos (Figura 1).

## METODOLOGÍA

La siguiente metodología se aplicó para obtener las nuevas cotas ortométricas de los pilares:

### I. Digitalización

El primer paso fue digitalizar los libros de campo históricos para recuperar los desniveles geométricos.

### II. Cálculo de cotas geométricas

A continuación, se calcularon los cierres geométricos de todos los polígonos que componen la Red de Nivelación de Alta Precisión (Figura 2).

### III. Cálculo de desniveles geopotenciales

Los desniveles geopotenciales fueron calculados a partir de valores de gravedad medidos sobre los pilares. Para aquellos pilares que no fueron medidos con gravímetros, los valores de aceleración de la gravedad fueron estimados usando el programa PredGrav (H. Drewes), provisto por SIRGAS. El cierre de los polígonos fue llevado a cabo considerando diferencias de números geopotenciales (Figura 3).

### IV. Detección de errores groseros

Luego de calcular los desniveles geopotenciales, fue posible analizar el error de cierre de todos los polígonos, y excluir del ajuste líneas de nivelación afectadas de errores groseros de medición.

### V. Ajuste

Se aplicó el método de mínimos cuadrados para el ajuste de la red de nivelación. Las matrices fueron generadas usando los desniveles geopotenciales entre nodos. El mareógrafo de Mar del Plata fue definido como el origen geopotencial. Los valores de la matriz de pesos fueron establecidos con la fórmula  $P_i = 1/L_i^2$  [m].

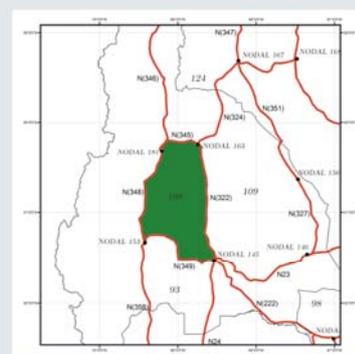
Luego de obtener los números geopotenciales ajustados de los nodos, fue posible calcular los números geopotenciales de todos los pilares entre los nodos.

### VI. Cálculo de alturas ortométricas

Finalmente fue posible transformar los números geopotenciales de todos los pilares a cotas ortométricas usando los siguientes métodos: Reducción de Aire Libre, Reducción por la placa de Bouguer, y la Corrección Topográfica por el método de Hammer (Ver B y C).



## A. Ejemplo de cierre de nivelación



Línea de nivelación	$\Delta H$ Geom. [m]	$\Delta H$ Orth. [m]	$\Delta$ Poten. [ $m^2/s^2$ ]	Distancia [m]
N[349]	-719.059	-719.094	-7039.926	131684
N[322]	526.913	526.952	5158.762	158985
N[345]	659.421	659.329	6454.702	60172
N[348]	-467.176	-467.195	-4573.026	134824
$\Sigma \Delta H$	0.099	-0.008	0.512	485665
Tolerancia	0.066			

La tolerancia establecida para las líneas de nivelación de alta precisión es:

$$m = 3[\text{mm}] \cdot \sqrt{L[\text{km}]} \quad m: \text{Tolerancia} \\ L: \text{Longitud de la línea}$$

## B. Reducción de la gravedad

- Remover placa de Bouguer:  $-0.1119 \times H [\text{mgal}]$
- Reducción de Aire Libre:  $+0.3086 \times H [\text{mgal}]$
- Reponer placa de Bouguer:  $-0.1119 \times H [\text{mgal}]$

- Corrección Topográfica (Diagrama de Hammer):

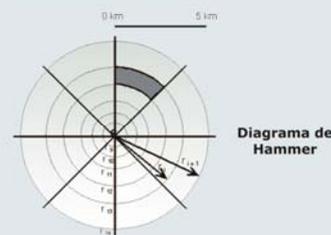
$$\Delta g = \sum \rho \frac{2\pi}{n} G (r_{i+1} - r_i + r_i^2 + \Delta h_i^2 - r_{i+1}^2 + \Delta h_i^2)$$

El modelo SRTM v4 se usó para implementar la corrección topográfica. Se usaron los siguientes parámetros:

$$\rho = 2.67 \text{ gr/cm}^3, \quad \alpha = 2\pi/n \quad (n = 360^\circ \text{ or } \alpha = 1^\circ)$$

$$G = 6.67428 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}, \quad r = 100 \text{ m}$$

Distancia máxima = 160Km



## C. Cota Ortométrica

$$H^0 = \frac{C}{g} \quad H: \text{Cota Ortométrica} \\ C: \text{Número geopotencial} \\ \int_0^H g \cdot dH: \text{Medición de gravedad sobre la superficie} \\ \bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g \cdot dH$$

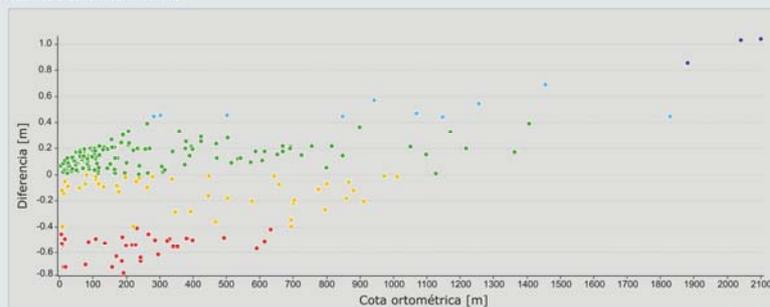
## REFERENCIAS

- D'onofrio, E., Fiore, M., Mayer, F., Perdomo, R., & Ramos, R. (1999). La Referencia Vertical. (A. Introcaso, Ed.) Contribuciones a la Geodesia en la Argentina de fines del Siglo XX. Homenaje a Oscar Parachu, 99 - 128.
- Heiskanen, W. and Moritz, H. (1967). Geodesia Física. W. H. Freeman, San Francisco, U.S.A.
- Hammer S. (1939). Terrain Corrections for Gravimeter Stations. Geophysics, vol. 4, 184-194.

## RESULTADOS

El Sigma del ajuste fue 0.027.

Las Figuras 5 y 6 muestran la diferencia entre el actual y el nuevo ajuste de la red calculada sobre los nodos de la misma.



## CONCLUSIONES

La Corrección Topográfica ha sido un importante paso para el cálculo de las cotas ortométricas. En regiones montañosas, esta corrección alcanzó los 50mgal. Nuestro objetivo es llevar a cabo un nuevo ajuste tomando en cuenta variaciones en la densidad de la corteza terrestre.



Figura 5