



PONTIFICIA
ACADEMIA
SCIENTIARVM

COMMENTARII

Vol. I

N. 33

JOSE GARCIA Sineriz

APLICACIONES CIENTIFICAS Y UTILITARIAS
DE LOS MAPAS GRAVIMETRICOS

EX AEDIBVS ACADEMICIS IN CIVITATE VATICANA

APLICACIONES CIENTIFICAS Y UTILITARIAS DE LOS MAPAS GRAVIMETRICOS

JOSE GARCIA SINERIZ

Académico Pontificio

SVMMARIVM — Exponit Auctor quid ad scientiam et ad usum valeant geographicae tabulae quae gravimetricae dicuntur.

En los últimos diez años, el número de observaciones gravimétricas realizado, en todos los países, ha sido tan grande, que parece estar muy indicado el estudio de las aplicaciones más interesantes de los mapas gravimétricos, a escala média, formados en aquellos; tanto desde el punto de vista puramente científico, como desde el práctico o utilitario, para que como consecuencia de dicho estudio se obtengan las condiciones mínimas que deban reunir, de acuerdo con las exigencias prácticas de las mediciones y de su reducción al Geóide que, frecuentemente, sufren limitaciones, difíciles de soslayar.

Una de esas limitaciones estriba en el emplazamiento de las estaciones; pues si bien, desde el punto de vista de su reducción al Geóide, interesa que estén situadas en pleno campo, las necesidades cartográficas de identificación de aquellas suelen imponer, como puntos preferentes, las iglesias, alcantarillas, hitos kilométricos de las carreteras etc. que no son las más recomendables, para efectuar las reducciones.

Nota presentada por el Académico Pontificio S.E. JOSÉ GARCIA SIÑERIZ el 12 de Octubre de 1963 durante la Sesión Plenaria de la Pontificia Academia de las Ciencias.

Otra de las limitaciones está impuesta por la necesidad de motorizar el servicio de observaciones, con lo que la red gravimétrica — casi se confunde —, con la de carreteras y, como consecuencia de ello, resulta un reparto desigual de aquellas, ya que la red de carreteras es mucho más densa en las regiones llanas que en las montañosas.

Sentados los anteriores precedentes, pasemos a estudiar las aplicaciones de los mapas gravimétricos que constituyen el fin del presente trabajo.

Aplicaciones geodésicas

a) *Aplanamiento terrestre*. Antes de inventarse los gravímetros, la observación de una estación de gravedad, por medio del péndulo, era un problema largo y costoso; y como consecuencia de ello, estas escaseaban; puede decirse que la única utilización práctica de las medidas de gravedad era la determinación del *aplanamiento terrestre*, que, por otra parte, era posible también obtener prescindiendo de las mismas.

Sabemos que la fórmula de la gravedad normal se puede presentar en la forma:

$$\gamma = \gamma_0 [1 + G \operatorname{seu}^2 \varphi + H \operatorname{seu}^2 2 \varphi]$$

donde γ_0 es la gravedad en el ecuador; G y H se suelen rectificar periódicamente, a medida que se dispone de más y mejor material de observación; o sea, a medida que se conocen los valores de los términos que dependen de la latitud φ . Cada estación γ_i, φ_i , dará una ecuación con tres incógnitas γ_0, G y H , y se deducirán los valores más probables de las mismas.

Por otra parte $G = \gamma_0 \left[\frac{5}{2} m - e - \frac{17}{14} m e \right]$; donde m es la razón de la fuerza centrífuga a la gravedad, en el ecuador; $m = \frac{\omega^2 \rho_0}{\zeta_0}$; llamando ω a la velocidad de rotación de la Tierra

y ρ_0 al radio ecuatorial, y es, por lo tanto, bien conocida; con lo que resulta que, despreciando en la anterior, el término $\frac{17}{14} me$, se tiene; $e = \frac{5}{2} m - \frac{G}{\zeta_0}$, que es el valor del aplana-
miento.

b) *Distancias entre el Geóide y el Elipsóide de referencia.*

El fin de la Geodésia es determinar la forma del Geóide; y aunque, provisionalmente, este se substituya por un elipsóide de referencia, el problema geodésico no termina mientras no se calcule la distancia entre el Geóide y el Elipsóide. Esta distancia se puede calcular para cada punto, con la fórmula de STOKES.

$$S = \frac{\rho_0}{G_g} \int A \left[\operatorname{cosec} \frac{\Psi}{2} + 1 - 6 \operatorname{sen} \frac{\Psi}{2} - 5 \cos \Psi - \right. \\ \left. - 3 \cos \Psi \log \left[\operatorname{sen} \frac{\Psi}{2} \left(1 + \operatorname{sen} \frac{\Psi}{2} \right) \right] \right]$$

donde G_g , es la gravedad; S la superficie terrestre; A, es la anomalía isostática en un punto cuyo entorno es d_s ; Ψ , la distancia angular entre el punto en el que se calcula la distancia Geóide-Elipsóide y aquel a que se refiere, A. La integral se extiende a toda la superficie terrestre.

Si bien es cierto que no bastará el Mapa Gravimétrico para resolver el problema de conocer la posición del Geóide, puesto que es preciso conocer la gravedad en toda la Tierra, también es cierto que, en las proximidades del terreno objeto de estudio, hace falta un conocimiento más preciso, por lo que podemos decir que el mapa, es condición necesaria, pero no suficiente para resolver este problema.

c) *Potenciales de gravedad para las nivelaciones.* Como es bien sabido, la suma algebraica de los desniveles de un polígono de nivelación por alturas no es cero, en general. En cambio si que lo es, la suma análoga de los « potenciales de gravedad »; producto de cada desnivel por el valor de la gravedad en el mismo $p = g.d$.

Por ello y porque en las aplicaciones más importantes de las nivelaciones, canales, vías de comunicación etc., lo que interviene es el trabajo mecánico definido por las equipotenciales de la gravedad, y no los desniveles brutos, definidos artificiosamente, a partir de una superficie de referencia arbitraria, en las redes de nivelaciones de precisión se hacen actualmente los cálculos, a partir de los potenciales de gravedad, en virtud de acuerdos internacionales; y se comprende que esa manera de calcular sería muy conveniente aplicarla, también, a aquellas redes antiguas que lo merezcan, sobre todo, si ello puede hacerse, sin nuevos trabajos de campo.

En efecto, basta observar en la fórmula anterior que lo que multiplica a la gravedad no es la altitud sino el desnivel, mientras que g representa, no la diferencia de gravedad entre los extremos del eje, sino la gravedad total; de lo que se deduce que el error relativo de d será, casi siempre, mayor que el de g . A modo de ejemplo podemos pensar que con una equidistancia de curvas isanómalas de 2 mgls., sea éste el error de g en una lectura en nuestro napa; ello supone un error relativo de $\frac{2}{980\ 000}$ y si esta g se aplicase a un eje cuyo desnivel fuese de 10 m (siempre será posible dividirlo, si fuese mayor) haría falta cometer en la nivelación del mismo un error menor que $\frac{1}{45}$ de milímetro, aproximadamente, dos centésimas de milímetro, para que ámbos errores relativos fuesen comparables. De lo que se deduce la utilidad del mapa para el refinamiento de las redes de dobles nivelaciones, sin necesidad de nuevos trabajos del campo.

Aplicaciones geofísicas

a) *Anomalías isostáticas.* El cálculo de las anomalías isostáticas puede suministrar datos preciosos a la geología. Para darse cuenta de esto, me remito al trabajo del profesor

LOZANO CALVO titulado « Sobre la interpretación de las anomalías isostáticas » publicado en la *Revista de Geofísica* n. 26, y en el que consta el siguiente cuadro:

ISOSTASIA	Airy	profundidad	}	constante	}	nula	
						finita (a)	
			no constante (a')	infinita			
		compensación	}	total (b)			
				parcial			
	comp. repartida	}	uniformemente (c)				
			no uniforme				
	regionalidad	}	local (d)				
			grado de regionalidad (d')				
	igualdad	}	de masas (e)				
			de presiones (e')				
	Pratt	espesor de la corteza	}	constante (A)			
				no constante (A')			
		compensación	}	total (B)			
		parcial					
comp. repartida		}	en la base (C)				
			en toda la altura (C')				
regionalidad	}	local (D)					
		grado de regionalidad (D')					
igualdad de presiones (E)							
Bouguer	superficie de compen-	}	única F				
	sación		múltiples (F')				

Cuya simple lectura y meditación basta para convencerse de la necesidad de un estudio isostático sistemático para lo que constituye elemento indispensable el mapa en cuestión; lo que no quiere decir que mientras el mapa esté en elaboración no sea necesario ocuparse del mismo, ya que aquel requiere previamente, la construcción de unos mapas auxiliares para el cálculo de las correcciones, que tienen aplicación en la práctica de la prospección geofísica, con lo que se rendirá un servicio a las compañías que a ello se dedican, que podrán mejorar su eficacia.

Las líneas de anomalías Airy nulas, son líneas de actividad tectónica, según predice la teoría y confirma la experiencia, ya que, a ambos lados de las mismas, los bloques tienen tendencia a moverse en dirección vertical y sentidos opuestos. Un mapa de anomalías Airy (sistema HEISKANEN) sería el complemento natural del sismotectónico, sobre todo en aquellas regiones que, por carecer de observatorios próximos, no se dispone de abundante material sísmico. La posibilidad de realizar observaciones en fajas de terreno a lo largo de las líneas sismotectónicas confirmaría estas, al propio tiempo que precisaría su verdadera forma con más detalle.

b) *La relación entre las anomalías gravimétricas y magnéticas.* Ha sido estudiada por diversos autores, EÖRVÖS estudió el problema teóricamente y STEINER realizó los cálculos necesarios para su aplicación a formas prismáticas.

Supongamos una masa unitaria con un par magnético \overline{M} , en una dirección cualquiera; creará en un punto P un potencial gravitatorio que será $U = \frac{K}{r}$; y otro magnético $V = \frac{m \cos \varphi}{r^2}$ llamando r a la distancia y φ al ángulo de \overline{M} con r .

Si consideramos que la fuerza gravitatoria creada en P es $-\frac{K}{r} \hat{p}$, y que su proyección según la dirección \overline{M} es $-\frac{K}{r} \cos \varphi = \varphi_n$; resultará que esta expresión no es otra cosa

que la derivada de V respecto de la dirección \bar{M} que llamaremos \bar{i}_m con lo que $\frac{i}{K} - \frac{d}{di_m} \left(\frac{K}{r} \right) = -\frac{\cos \varphi}{r^2}$ y multiplicando los dos miembros por M resulta:

$$M \frac{d}{di_m} \left(\frac{K}{r} \right) = -\frac{M \cos \varphi}{r^2} = V$$

Lo que nos da una relación entre el potencial magnético M y el gravimétrico $U = \frac{K}{r}$, de la que se pueden deducir relaciones entre los componentes.

Aplicaciones utilitarias

a) *Localización de anticlinales y sinclinales.* Las curvas isanómalas permiten localizar la posición de los anticlinales y sinclinales, y como las primeras son zonas de posible acumulación de petróleo (y precisamente las más importantes) y las segundas de agua, se comprende la utilidad del mapa para localizar las zonas que merezcan un estudio geofísico más detenido.

Si se tiene en cuenta que las estadísticas demuestran que la probabilidad de resultar productiva una perforación petrolífera es cinco o seis veces mayor, cuando va precedida de un estudio geofísico del terreno, que cuando no es así, y lo costoso de los sondeos mecánicos, resalta la conveniencia de que el estudio geofísico preceda siempre a los sondeos y si, por otra parte, consideramos que la prospección sísmica, aunque indudablemente es la mejor, es enormemente cara, resulta no solo la gran utilidad del mapa, al restringir las zonas de aplicación de los sondeos y de la sismología a las estrictamente indispensables, sino que, en realidad, los gastos de su ejecución quedan más que compensados, solo por ese único concepto, sin tener para nada en cuenta las restantes y múltiples aplicaciones.

Auxiliar poderosísimo de la gravimetría, en la localización de anticlinales, son las fotografías desde avión, que se utilizan en fotogrametría y permiten señalar los comienzos de los anticlinales cuya prolongación, en las zonas llanas, marcan las anomalías gravimétricas.

Pero si los anticlinales señalan zonas interesantes desde el punto de vista petrolífero, los sinclinales señalan las que pueden servir para la captación de agua subterránea y si grande es la riqueza que crean los pozos de petróleo, enorme es la que crea el agua y además *inagotable*. Se podrían repetir aquí los argumentos anteriores para llegar a la conclusión de que los sondeos en busca de agua deben ir siempre precedidos de una información geofísica (además de la geológica) y que aquella se deba realizar, preferentemente, en las zonas que mejores condiciones reúnan, tanto a la vista del mapa geológico, como del gravimétrico; se debe preguntar ¿donde hay agua?; no, si la hay aquí o allí.

b) *Gravedad normal local*. En los trabajos de prospección geofísica minera, dice muy poco la gravedad normal; esta interviene en el cálculo de las anomalías regionales; pero, en los trabajos de detalle, lo que interesa es la perturbación que una masa relativamente pequeña, introduce en el campo gravitatorio regional; de aquí la conveniencia de conocer éste, cosa que suministra, sin más, el mapa en cuestión. Es cierto que la falta del mapa se suele suplir observando unos cuantos puntos en el entorno de la zona explorada y de ellos se deduce la « gravedad normal local »; pero es indudable que los valores así obtenidos no tienen la garantía del mapa, donde, entre otras cosas, aparecen representadas por las curvas isanómalas las zonas « homogéneas » desde el punto de vista gravitatorio y por lo tanto, dá la garantía de saber si la zona explorada está integralmente incluida en una de ellas; ya que de otra forma atribuiríamos a la perturbación de la masa mineral lo que en realidad era ocasionado por el cambio de zona.