Nº de inventario
4581
6552

EJERCITO ARGENTINO

DIRECCION GENERAL

DEL

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

DIVULGACION DE CARACTER TECNICO PARA CONOCIMIENTO DE SU PERSONAL

FOLLETO No. 5

EMPLEO DEL GRAVIMETRO

PARA EL

ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS FIJOS GRAVIMETRICOS

por E. V. McCollum y Andrew Brown

BUENOS AIRES
1946

...tario

BIBLIOTECA

Nº de inventario
4581

EMPLEO DEL GRAVIMETRO

PARA EL

ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS FIJOS GRAVIMETRICOS

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
BIBLIOTECA

EJERCITO ARGENTINO

DIRECCION GENERAL

DEL

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

DIVULGACION DE CARACTER TECNICO PARA CONOCIMIENTO DE SU PERSONAL

FOLLETO No. 5

EMPLEO DEL GRAVIMETRO

PARA EL

ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS FIJOS GRAVIMETRICOS

por E. V. McCollum y Andrew Brown

BUENOS AIRES
1946

Es propiedad del Instituto Geográfico Militar
Ley 11723

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

Buenos Aires, 19 de julio de 1945.

Disposición Permanente N°. 370

Visto lo propuesto por la Dirección del Servicio Geográfico y considerando conveniente estimular entre el personal técnico de la Gran Repartición el ambiente de investigación y estudio que es característico de los grandes institutos geodésico-cartográficos,

El Director General—

DISPONE:

1º Procédase a la publicación periódica de folletos tendientes a la divulgación de métodos de trabajo, investigaciones y estudios relacionados con la ciencia geográfica.

2º La Dirección del Servicio Geográfico tendrá a su cargo la elección de los temas y la revisión técnica de las traducciones, las que serán efectuadas con el personal de traductores del Instituto.

3º Las publicaciones a que se hace mención en la presente Disposición están destinadas a uso exclusivo del personal técnico de la Gran Repartición.

4º La Dirección del Servicio Técnico procederá a imprimir de cada folleto 750 (setecientos cincuenta) ejemplares que serán entregados a la Dirección del Servicio Geográfico para su distribución gratuita.

5º Para conocimiento general, dése en la Disposición Permanente respectiva y archívese en la División Central.

OTTO H. HELBLING
General de Brigada
Director General

PROLOGO

La necesidad de la determinación de la intensidad de la gravedad en los puntos fijos de las líneas de nivelación de alta precisión, a los efectos de tomar en cuenta la falta de paralelismo de las superficies de nivel, obliga a nuestra Gran Repartición a encarar en un futuro próximo, la ejecución de determinaciones con gravímetros en forma intensiva a lo largo de dichas líneas.

El plan previsto para nuestros trabajos gravimétricos ha sido establecido bajo un punto de vista similar al que se advierte en el presente trabajo; esto es, determinaciones pendulares cada 250 km aproximadamente (en puntos de *Laplace*), para apoyo de trabajos de densificación con gravímetros. Por tal motivo creemos conveniente dar a conocer las consideraciones al respecto formuladas por los geofísicos *E. V. McCollum* y *Andrew Brown*, en el folleto intitulado "Use of the gravity meter in establishment of gravity bench marks", las que dan idea del problema en general, y de la precisión de las observaciones y ajuste de los gravímetros *Mott - Smith*, en particular.

OTTO H. HELBLING
General de Brigada
Director General del Instituto Geográfico Militar

INDICE

Pág.

Empleo del gravímetro para el establecimiento de puntos fijos gravimétricos 11

Contraste de los gravímetros 14

Compensación de redes gravimétricas 15

Compensación o ajuste a estaciones pendulares 17

Conclusiones 23

Consideraciones finales 25

EMPLEO DEL GRAVIMETRO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS FIJOS GRAVIMETRICOS

por

E. V. McCollum y Andrew Brown

RESUMEN DEL CONTENIDO

Se presentan datos que muestran las comparaciones entre puntos fijos gravimétricos determinados con gravímetros y mediante redes pendulares. Se sugieren métodos de compensación para los cierres de polígonos. Los enlaces con las estaciones de péndulos del Coast and Geodetic Survey de los Estados Unidos y del Observatorio del Dominio del Canadá, proporcionan una base para la calibración de los gravímetros empleados y para la determinación de la gravedad en los puntos fijos gravimétricos, referida al sistema de gravedad mundial. Se examinan los errores probables y las precisiones.

Las mediciones de gravedad relativa en los levantamientos gravimétricos, son similares a la determinación de desniveles en la ingeniería civil; por lo tanto, un sistema de puntos fijos gravimétricos, parecido al de los puntos fijos de la nivelación de precisión del Coast and Geodetic Survey de los Estados Unidos, sería muy útil en los levantamientos de gravedad. Desde la introducción del gravímetro en la prospección geofísica, muchas veces ha sido necesario volver a dibujar las cartas y calcular de nuevo los datos de gravedad, debido a la falta de un punto fundamental sobre el que pudieran basarse los levantamientos gravimétricos. Un sistema de puntos fijos gravimétricos de precisión haría pues posible la calibración uniforme de los gravímetros.

A pesar de que el Coast and Geodetic Survey de los Estados Unidos, el Observatorio del Dominio del Canadá y otras dependen-

cias oficiales similares, han establecido un considerable número de estaciones pendulares en sus respectivos países, tales estaciones no pueden emplearse directamente como puntos fijos gravimétricos en la prospección con el gravímetro, debido: 1º, a la falta de precisión y, 2º, a la distribución areal insuficiente. Sin embargo, las estaciones pendulares llenan un propósito de mucha utilidad en la calibración de gravímetros y en la vinculación a la red gravimétrica mundial.

Puesto que los gravímetros tienen la necesaria sensibilidad gravimétrica, se deduce que pueden emplearse para el establecimiento de puntos fijos gravimétricos. Durante los últimos tres años, la *Corporación Mott-Smith* y la *Compañía Geofísica Canadiense Ltda.*, han establecido, aproximadamente, 800 puntos fijos gravimétricos en 13 estados de los Estados Unidos y 2 provincias del Canadá.

La figura 1 muestra la ubicación de los puntos fijos gravimétricos. 109 estaciones pendulares fueron ocupadas y se recorrieron cerca de 100 000 millas para establecer estos puntos. Se utilizaron en este trabajo gravímetros de tipo cero, a escala lineal y con sensibilidad real de 0,1 miligal por división de escala; empleándose para establecer las estaciones el método de los "looping" (1).

Se comprende fácilmente que si para trazar una red de estaciones de gravedad se emplea una diversidad de gravímetros a escala lineal constante y que si los distintos gravímetros utilizados repiten, a lo menos una parte del trabajo efectuado por uno o varios de los otros gravímetros, y si además se exige que varias de las estaciones coincidan con las estaciones pendulares, sería posible llegar a una solución mediante mínimos cuadrados, que proporcionaría las constantes de todos los instrumentos y los valores de la gravedad en todas las estaciones, siempre que el número de las magnitudes observadas exceda al de las incógnitas.

Una tal solución general es muy laboriosa y además todos los datos deben ser válidos para el momento en que se la efectúe. Se ganaría considerable claridad y utilidad, resolviendo el problema general en las siguientes etapas parciales:

1. Contraste de los gravímetros.
2. Compensación de redes gravimétricas.
3. Compensación o ajuste a estaciones pendulares.

---

(1) Mantenemos en este trabajo la expresión "looping", agregando para mayor claridad que ella significa la ejecución de las determinaciones con gravímetro en el orden: estación 1 (atrás) - estación 2 (adelante) - estación 1 - estación 2; para repetir el mismo proceso en el orden 3 - 2 - 3 - 4, etc.; de acuerdo al siguiente esquema:

véase *L. L. Nettleton*, Geophysical Prospecting for Oil, página 38, McGraw-Hill (1940).

Fig. 1. Distribución de puntos fijos gravimétricos en los Estados Unidos y Canadá

CONTRASTE DE LOS GRAVIMETROS

Alrededor de 50 gravímetros han sido comparados en una serie de cinco estaciones de contraste (o de calibración) cerca de Houston, Texas, para las cuales la diferencia máxima de gravedad es aproximadamente de 70 miligales. Los datos del contraste hacen posible la conversión de las lecturas de todos los instrumentos a uno de ellos elegido.

Si la lectura de la escala de un instrumento cualquiera se designa por R_i y la lectura del instrumento elegido por S_i, las lecturas de ambos instrumentos pueden relacionarse en forma funcional mediante la expresión.

$$\alpha + \beta R_i = S_i \qquad (1)$$

donde α y β son constantes.

Como ejemplo numérico daremos las ecuaciones de observación que vinculan un instrumento típico cualquiera con el instrumento elegido, en cinco estaciones de comparación:

$$\begin{aligned} \alpha + \ \ 0.0\ \beta &= \ \ 0.0 \\ \alpha + 114.1\ \beta &= 143.51 \\ \alpha + 292.1\ \beta &= 367.57 \\ \alpha + 602.9\ \beta &= 758.15 \\ \alpha + 654.1\ \beta &= 822.37 \end{aligned} \qquad (2)$$

La resolución de las (2) por mínimos cuadrados (1) da $\beta = 1.25730$. El error probable de β es $\varepsilon_\beta = 0.28 \times 10^{-8}$. Un estudio de los datos acumulados en las estaciones de contraste, revela que los distintos gravímetros se relacionan mutuamente con una precisión de 3 partes en 10 000. La resolución de ecuaciones similares a las (2) por mínimos cuadrados será más ampliamente tratada en un capítulo posterior intitulado "Compensación o ajuste a estaciones pendulares".

---

(1) *R. Meldrum Stewart*, astrónomo del Dominio del Canadá, Ottawa, nos ha llamado atentamente la atención en una comunicación personal, que las soluciones dadas a la serie de ecuaciones 1, 3 y 9 son aproximaciones primeras, que son estrictamente correctas solamente si las cantidades observadas R_i, q_i, y S_1, $S_2 \ldots$, respectivamente, están libres de errores, hallándose el error de observación limitado a S_i, p_i, y g_1, g_2, ... en los casos respectivos. Este tema es discutido en la revista Phil. Mag., Vol. 40, págs. 217-27 (1920). Sin embargo, no es probable que los resultados de la solución rigurosa se diferencien materialmente de los así hallados.

El señor *Craig Ferris* (1) ha hecho notar que los gravímetros pueden también ser contrastados si se consiguen datos para varios pares de estaciones, en que los distintos pares no están necesariamente relacionados entre sí. Si la diferencia de gravedad obtenida en un par de estaciones con un instrumento se llama p_i y la diferencia de gravedad medida con el instrumneto Standard es q_i, la ecuación que los vincula puede escribirse así:

$$p_i = \beta q_i \qquad (3)$$

Si las mediciones se toman en n pares de estaciones, la constante de contraste β y su error ε_β serán (2), respectivamente.

$$\beta = \Sigma p_i q_i / \Sigma q_i^2 \qquad (4)$$

$$\varepsilon_\beta = \pm \ .6745 \left[\Sigma (\beta q_i - p_i)^2 / (n-1) \Sigma q_i^2 \right]^{1/2} \qquad (5)$$

donde las sumatorias incluyen todos los valores integrantes 1, 2, 3, ..., n.

COMPENSACION DE REDES GRAVIMETRICAS

Al establecer los puntos fijos gravimétricos, se efectuaron las mediciones a lo largo de todos los "polígonos de loops" cerrados, posibles. Los polígonos de loops se compensaron por el método de los mínimos cuadrados.

En el caso en que sólo exista un polígono de loops cerrado, sean $q_1, q_2, q_3, \ldots q_n$ los valores de gravedad más probables, y S_1, S_2, $S_3, \ldots S_n$ los valores observados a través de un polígono de n lados. Si las observaciones son de igual peso, las ecuaciones de observación son:

$$\begin{aligned} q_1 &= S_1 \\ q_2 &= S_2 \\ q_3 &= S_3 \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots \\ q_n &= S_n \end{aligned} \qquad (6)$$

(1) Comunicación privada.
(2) *Davis y Brenke*, The Calculus, Tablas pág. 6, *Macmillan* (1922).

a las que debe agregarse la ecuación de condición,

$$q_1 + q_2 + q_3 + \cdots\cdots\cdots + q_n = 0. \qquad (7)$$

La resolución por mínimos cuadrados de las ecuaciones 6 y 7 para el lado de orden *i*, da

$$q_i = S_i - (1/n)\,\Sigma S. \qquad (8)$$

Se deduce de la ecuación 8 que el error de cierre ΣS, debe ser igualmente distribuído entre los distintos lados del polígono.

En el caso que exista una red de polígonos cerrados la compensación es un poco más complicada. El procedimiento general empleado

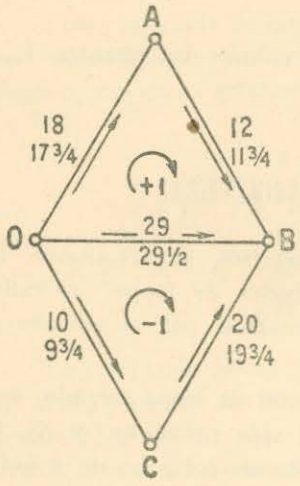


Fig. 2a

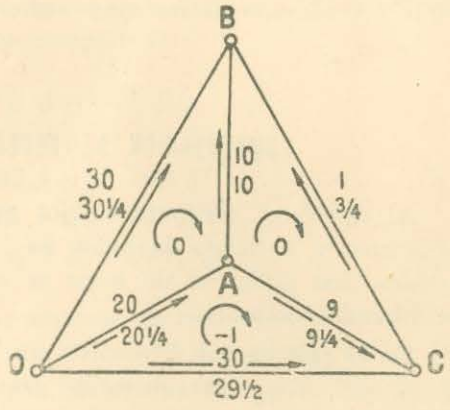


Fig. 2b

Redes esquemáticas de puntos fijos de gravedad que ilustran una compensación por el método de los mínimos cuadrados

se ilustra numéricamente en la figura 2.

En cada uno de los diagramas el error de cierre de cada uno de los "polígonos de loops" cerrados, tomado en dirección de las agujas del reloj, está indicado por un número en el centro del polígono. Sobre cada uno de los lados, la cifra superior, por ejemplo la 18, a lo largo de *O A*, figura 2a, indica la gravedad observada y la cifra inferior, *17* 3/4 el valor obtenido mediante la compensación

por mínimos cuadrados. El estudio de las figuras 2a y 2b, junto al de redes similares, ha puesto en evidencia que:

1. Los polígonos con pequeños errores de cierre necesitan poco ajuste.
2. Los lados comunes a polígonos con errores de cierre de signos opuestos, requieren ajustes relativamente fuertes.

Mientras que el actual ajuste de los polígonos se efectuaba en base a las reglas arriba formuladas existía poca dificultad, dado que un buen balance de cierres positivos y negativos de los polígonos de unión existía a través de la red.

Es de creer que un cálculo riguroso por el método de los mínimos cuadrados daría valores para las estaciones individuales que estarían de acuerdo, dentro de unos pocos centésimos de miligal, con aquellos adoptados.

COMPENSACION O AJUSTE A ESTACIONES PENDULARES

Como se ha dicho anteriormente, 109 estaciones de péndulo observadas por el Coast and Geodetic Survey de los Estados Unidos y el Observatorio del Dominio del Canadá, fueron ocupadas durante el proceso de establecer puntos fijos gravimétricos; pudiendo escribirse las siguientes ecuaciones de observación:

$$\begin{aligned} g_0 + kS_1 &= g_1 \\ g_0 + kS_2 &= g_2 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ g_o + kS_n &= g_n \end{aligned} \qquad (9)$$

donde g_0 es la gravedad en un punto arbitrario de partida.

k la constante del gravímetro elegido.

S_i la lectura del gravímetro, referida al punto arbitrario de partida.

g_i la gravedad medida con el péndulo.

La resolución por mínimos cuadrados de las (9) nos da las siguientes ecuaciones normales:

$$\begin{aligned} n g_o + k \cdot \Sigma S_i &= \Sigma g_i \\ S_i g_o + k \cdot \Sigma S_i^2 &= \Sigma S_i g_i \end{aligned} \qquad (10)$$

que resueltas respecto a k y g_0 dan:

$$k = \left[n \Sigma S_i g_i - \Sigma S_i \Sigma g_i \right] / \left[n \Sigma S_i^2 - (\Sigma S_i)^2 \right] \qquad (11)$$

$$g_o = \left[\Sigma S_i^2 \Sigma g_i - \Sigma S_i \Sigma S_i g_i \right] / \left[n \Sigma S_i^2 - (\Sigma S_i)^2 \right] . \qquad (12)$$

El error de cierre de los "polígonos de loops" cerrados puede utilizarse para apreciar el error, e, en las diferencias de gravedad, entre pares de estaciones. Supongamos que q_1, q_2, q_3, ..., q_n sean las diferencias de gravedad obtenidas a lo largo de una línea de estaciones gravimétricas. El cambio total de gravedad Q, es

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \cdots + q_n . \qquad (13)$$

Si todas las q han sido medidas con igual precisión, puede demostrarse que el error acumulativo E (1)

$$E = \sqrt{n} \cdot e , \qquad (14)$$

donde e es el error en cada diferencia de gravedad entre los sucesivos pares de estaciones.

En el caso particular en que la línea de estaciones gravimétricas forma un polígono cerrado de n lados, el error acumulativo está dado por los errores de cierres ΣS, de modo que

$$e = (\Sigma S) / \sqrt{n} . \qquad (15)$$

En la Tabla I se presentan los cierres y errores para 12 polígonos típicos. Se obtuvo para e el valor promedio 0,0185 miligales.

---

(1) *Leroy D. Weld*, Theory of Errors and Least Squares, p. 166 *Macmillan* (1922).

TABLA I

CIERRES Y ERRORES CORRESPONDIENTES A 12 POLIGONOS TIPICOS

Polígono	Distancia a lo largo de los polígonos en millas	n	$\sqrt{n}$	ΣS	e
A	455	18	4.2	$-.04 \times 10^{-3}$	$.010 \times 10^{-3}$
B	697	32	5.6	+.04	.007
C	403	16	4.0	−.10	.025
D	504	25	5.0	−.33	.066
E	444	22	4.7	+.03	.006
F	563	21	4.6	+.11	.024
G	370	16	4.0	+.03	.008
H	359	15	3.9	+.11	.029
I	527	26	5.1	+.08	.016
J	387	25	5.0	−.05	.010
K	260	14	3.7	−.04	.011
L	604	24	4.9	+.05	.010

Promedio .0185

Los errores probables de k y g_o pueden determinarse por un método establecido por *Weld* (1).

El error standard puede obtenerse mediante la fórmula

$$\varepsilon_s = \pm 0.6745 \left[\Sigma p_i^2 / (n - l) \right]^{1/2} \qquad (16)$$

donde $p_i = (g_o + kS_i) - g_i$

n = número de observaciones

l = número de incógnitas,

luego ε_k y ε_o, error standard en g_o, son

$$\varepsilon_k = \varepsilon_s \left\{ n / \left[n \Sigma S_i^2 - (\Sigma S_i)^2 \right] \right\}^{1/2} \qquad (17)$$

$$\varepsilon_o = \varepsilon_s \left\{ \left[\Sigma S_i^2 \right] / \left[n \Sigma S_i^2 - (\Sigma S_i)^2 \right] \right\}^{1/2}. \qquad (18)$$

(1) Op. cit., p. 183

En la Tabla II están tabulados los valores más probables de la gravedad $(g_0 + kS_i)$, los valores pendulares g_i y los residuales p_i para las estaciones pendulares americanas y canadienses (1) ocupadas por los gravímetros. Las estaciones marcadas con un asterisco, no se emplearon en los cálculos de compensación a causa de su gran valor residual. El promedio de valores residuales, sin tomar en cuenta el signo, para las 100 estaciones pendulares utilizadas en el cálculo, es de 1,33 miligales.

TABLA II

RESULTADOS DEL AJUSTE A 109 ESTACIONES PENDULARES DE LOS ESTADOS UNIDOS Y CANADA

p_i son los residuos entre las observaciones con gravímetro y péndulo

Estación	$g_o + kS_i$	g_i	p_i	Lugar de la estación
6*	979.53587	979.548	$+ 12.13 \times 10^{-3}$	Rayville, Louisiana
9	979.08177	979.084	+ 2.23	Laredo, Texas
10	979.29005	979.292	+ 1.95	Austin, Texas
41	979.75614	979.760	+ 3.86	Wallace, Kansas
73	979.57203	979.571	— 1.03	Denison, Texas
76	980.62490	980.628	+ 3.10	Bismarck, North Dakota
93	979.35080	979.350	— 0.80	Wilmer, Alabama
94*	979.55039	979.557	+ 6.61	Aliceville, Alabama
97	979.42551	979.427	+ 1.49	Nacogdoches, Texas
118*	980.42509	980.432	+ 6.91	Pierre, South Dakota
144	979.43051	979.433	+ 2.49	Alexandria, Louisiana
145	979.46949	979.471	+ 1.51	Laurel, Mississippi
167*	979.61125	979.605	— 6.25	Arkansas City, Arkansas

* Estaciones no utilizadas en la resolución por mínimos cuadrados debido a los grandes residuos.

(1) Obtenida de Principal Facts for Gravity Stations, Parts I to 6 inclusive, U. S. Coast and Geodetic Survey, and Gravity and Isostasy in Canadá, Publications of the Dominion Observatory, Vol. XI. Nº 3 (1936).

TABLA II - (Continuación)

Estación	$g_o + kS_i$	g_i	p_i	Lugar de la estación
189*	980.81225	980.819	$+ 6.75 \times 10^{-3}$	Towner, North Dakota
206*	980.21062	980.216	+ 5.38	Valentine, Nebraska
285	979.29489	979.296	+ 1.11	Sabine, Texas
300	979.66417	979.666	+ 1.83	Wapanucka, Oklahoma
301	979.66291	979.662	— 0.91	Troy, Oklahoma
306	979.51802	979.518	— 0.02	Saline ≠ 1, Texas
307	979.51910	979.520	+ 0.90	Saline ≠ 2, Texas
311	979.26762	979.267	— 0.62	Damon ≠ 1, Texas
312	979.25568	979.257	+ 1.32	Damon ≠ 2, Texas
399	979.36616	979.368	+ 1.84	Marianna, Florida
400	979.35409	979.353	— 1.09	Baton Rouge, Louisiana
402	979.29384	979.294	+ 0.16	Pierce Junction, Texas
403	979.28530	979.287	+ 1.70	Blue Ridge, Texas
404	979.28297	979.283	+ 0.03	Sugarland, Texas
406	979.32524	979.326	+ 0.76	Beaumont, Texas
407	979.33615	979.337	+ 0.85	Cleveland, Texas
420*	979.88436	979.877	— 7.36	Hays, Kansas
454	980.19897	980.195	— 3.97	Crabb, Nebraska
456*	979.70777	979.698	— 9.77	Bullard, Kansas
714*	979.32528	979.330	+ 4.72	Welsh, Louisiana
715	979.30950	979.310	+ 0.50	Grand Chenier, Louisiana
716	979.38049	979.383	+ 2.51	Oakdale, Louisiana
717	979.41170	979.414	+ 2.30	Sandel, Louisiana
718	979.50665	979.510	+ 3.35	Kingston, Louisiana
719	979.51990	979.524	+ 4.10	Vernon, Texas
720	979.22298	979.223	+ 0.02	Midland, Texas
721	979.30153	979.302	+ 0.47	Sweetwater, Texas
725	979.08173	979.080	— 1.73	Port Isabel, Texas
726	979.11124	979.111	— 0.24	Alice, Texas
727	979.14858	979.145	— 3.58	Corpus Christi, Texas
728	979.25144	979.251	— 0.44	Bay City, Texas
730	979.27856	979.279	+ 0.44	Rosenberg, Texas
731	979.28422	979.283	— 1.22	Wallis, Texas
733	979.30082	979.303	+ 2.18	Bastrop, Texas
734	979.27754	979.278	+ 0.46	Fayetteville, Texas
735	979.34204	979.342	— 0.04	Grand Bay, Alabama

TABLA II - (Continuación)

Estación	$g_o + kS_i$	g_i	p_i	Lugar de la estación
189*	980.81225	980.819	$+ 6.75 \times 10^{-3}$	Towner, North Dakota
206*	980.21062	980.216	+ 5.38	Valentine, Nebraska
285	979.29489	979.296	+ 1.11	Sabine, Texas
300	979.66417	979.666	+ 1.83	Wapanucka, Oklahoma
301	979.66291	979.662	— 0.91	Troy, Oklahoma
306	979.51802	979.518	— 0.02	Saline ≠ 1, Texas
307	979.51910	979.520	+ 0.90	Saline ≠ 2, Texas
311	979.26762	979.267	— 0.62	Damon ≠ 1, Texas
312	979.25568	979.257	+ 1.32	Damon ≠ 2, Texas
399	979.36616	979.368	+ 1.84	Marianna, Florida
400	979.35409	979.353	— 1.09	Baton Rouge, Louisiana
402	979.29384	979.294	+ 0.16	Pierce Junction, Texas
403	979.28530	979.287	+ 1.70	Blue Ridge, Texas
404	979.28297	979.283	+ 0.03	Sugarland, Texas
406	979.32524	979.326	+ 0.76	Beaumont, Texas
407	979.33615	979.337	+ 0.85	Cleveland, Texas
420*	979.88436	979.877	— 7.36	Hays, Kansas
454	980.19897	980.195	— 3.97	Crabb, Nebraska
456*	979.70777	979.698	— 9.77	Bullard, Kansas
714*	979.32528	979.330	+ 4.72	Welsh, Louisiana
715	979.30950	979.310	+ 0.50	Grand Chenier, Louisiana
716	979.38049	979.383	+ 2.51	Oakdale, Louisiana
717	979.41170	979.414	+ 2.30	Sandel, Louisiana
718	979.50665	979.510	+ 3.35	Kingston, Louisiana
719	979.51990	979.524	+ 4.10	Vernon, Texas
720	979.22298	979.223	+ 0.02	Midland, Texas
721	979.30153	979.302	+ 0.47	Sweetwater, Texas
725	979.08173	979.080	— 1.73	Port Isabel, Texas
726	979.11124	979.111	— 0.24	Alice, Texas
727	979.14858	979.145	— 3.58	Corpus Christi, Texas
728	979.25144	979.251	— 0.44	Bay City, Texas
730	979.27856	979.279	+ 0.44	Rosenberg, Texas
731	979.28422	979.283	— 1.22	Wallis, Texas
733	979.30082	979.303	+ 2.18	Bastrop, Texas
734	979.27754	979.278	+ 0.46	Fayetteville, Texas
735	979.34204	979.342	— 0.04	Grand Bay, Alabama

TABLA II - (Continuación)

Estación	$g_o + kS_i$	g_i	p_i	Lugar de la estación
736	979.33831	979.338	— 0.31×10^{-3}	Alabama Port, Alabama
737	979.34161	979.342	+ 0.93	Spring Hill, Alabama
739	979.40455	979.405	+ 0.45	Calvert, Alabama
740	979.44635	979.445	— 1.35	Yarbo, Alabama
741	979.47253	979.472	— 0.53	Bolinger, Alabama
742	979.44902	979.450	+ 0.98	Salipta, Alabama
743	979.42678	979.430	+ 3.22	Salt Creek, Alabama
744	979.44429	979.443	— 1.29	Allen, Alabama
745	979.47623	979.476	— 0.23	Sand Flat, Alabama
746	979.50308	979.503	— 0.08	Campbell, Alabama
748	979.43358	979.434	+ 0.42	Claiborne, Alabama
749	979.40901	979.409	— 0.01	Megargel, Alabama
750	979.37521	979.376	+ 0.79	Bay Minnette, Alabama
751	979.38408	979.384	— 0.08	Robinsonville, Alabama
752	979.37612	979.377	+ 0.88	Stockton, Alabama
753	979.34553	979.346	+ 0.47	Fairhope, Alabama
755	979.36664	979.368	+ 1.36	Muscogee, Alabama
757	979.10633	979.105	— 1.33	Fort Stockton, Texas
883	979.34095	979.341	+ 0.05	Blountstown, Florida
884	979.34421	979.342	— 2.21	Sink Creek, Florida
885	979.38606	979.389	+ 2.94	Mumford, Florida
886	979.40557	979.405	— 0.57	Dothan, Alabama
887	979.37842	979.377	— 1.42	Bonifay, Florida
890	979.38133	979.377	— 4.33	Crestview, Florida
893	979.43461	979.434	— 0.61	Gantt, Alabama
894	979.43274	979.433	+ 0.26	Rome, Alabama
895	979.39916	979.397	— 2.16	Stateline, Alabama
896	979.42092	979.420	— 0.92	Miller Well, Alabama
897	979.44936	979.450	+ 0.64	Garrett Well, Alabama
901	979.45902	979.459	— 0.02	Troy, Alabama
902	979.46403	979.462	— 2.03	Glenwood, Alabama
903	979.45297	979.453	+ 0.03	Elba, Alabama
976	979.82794	979.826	— 1.94	Wellington, Kansas
977	979.64452	979.645	+ 0.48	Caney, Oklahoma
978	979.63053	979.630	— 0.53	Tushka, Oklahoma
979	979.61704	979.616	— 1.04	Dandridge, Oklahoma

TABLA II - (Continuación)

Estación	$g_o + kS_i$	g_i	p_i	Lugar de la estación
980	979.61047	979.610	— 0.47×10^{-3}	Atoka, Oklahoma
981	979.65150	979.652	+ 0.50	Bogey Depot, Oklahoma
982	979.65278	979.651	— 1.78	Voca, Oklahoma
984	979.61864	979.619	+ 0.36	Matoy, Oklahoma
985	979.61858	979.618	— 0.58	Banty, Oklahoma
986	979.63929	979.639	— 0.29	Pritchard, Oklahoma
987	979.64201	979.641	— 1.01	Armstrong, Oklahoma
988	979.65340	979.651	— 2.40	Caddo, Oklahoma
989	979.64085	979.641	+ 0.15	Cobb,, Oklahoma
990	979.66826	979.668	— 0.26	Kenefick, Oklahoma
991	979.49011	979.488	— 2.11	Kerens, Texas
996	979.27081	979.270	— 0.81	San Angelo, Texas
997	979.17058	979.170	— 0.58	Big Lake, Texas
1101	980.78620	980.784	— 2.20	Devils Lake, North Dakota
1102	980.81115	980.810	— 1.15	Rugby, North Dakota
1103	980.78263	980.782	— 0.63	Minot, North Dakota
1114	979.55139	979.553	+ 1.61	Lake Providence, Louisiana
1122	979.55816	979.557	— 1.16	Serepta, Louisiana
33	980.94942	980.945	— 4.42	Moosejaw, Saskatchewan
34	980.87307	980.870	— 3.07	Medicine Hat, Alberta
76	980.85696	980.860	+ 3.04	Estevan, Saskatchewan
80	980.98948	980.993	+ 3.52	Elbow, Saskatchewan
81	980.88129	980.882	+ 0.71	Swift Current, Saskatchewan
112	980.99551	980.999	+ 3.49	Kindersley, Saskatchewan

CONCLUSIONES

Los resultados de tres ajustes a estaciones pendulares para las fechas agosto 10 de 1940, febrero 1º de 1942 y abril 2 de 1943, se dan en la Tabla III. La cantidad de estaciones pendulares empleadas en el último ajuste fué aproximadamente el doble de las empleadas en el primero, mientras que el recorrido gravimétrico total comprendía más del cuádruple.

TABLA III

RESULTADOS DE TRES AJUSTES SUCESIVOS A ESTACIONES PENDULARES

Fecha	8-10-40	2-1-42	4-2-43
Nº de estaciones pendulares utilizadas.	53	81	100
Diferencia de gravedad.	415.39×10^{-3}	1729.60×10^{-3}	1913.70×10^{-3}
k	0.084382×10^{-3}	0.08463×10^{-3}	0.084673×10^{-3}
g_o	979.33668	979.3360569	979.3361539
ε_s	1.1931×10^{-3}	1.0803×10^{-3}	1.2046×10^{-3}
ε_k	0.0001×10^{-3}	0.00003×10^{-3}	0.00002×10^{-3}
ε_o	0.23036×10^{-3}	0.134×10^{-3}	0.135×10^{-3}

Se notará que el error standard ϵ_s, cambió muy poco en las distintas soluciones. Este error se obtuvo de los residuales p_i e incluye tanto errores en las mediciones con gravímetro como en las mediciones con péndulo. La magnitud del error standard excede ligeramente un miligal y se halla probablemente grandemente influenciada por los errores de las determinaciones pendulares. Los errores más serios previsibles en el trabajo con gravímetros son de tipo acumulativo y del orden de 0.25 de miligal a lo máximo, para las estaciones comprendidas. El error probable en la medición de las primeras estaciones pendulares es del orden de un miligal (1). El error en las últimas mediciones pendulares es algo menor que un miligal (2).

Otro tipo de error entra en las determinaciones pendulares debido a que durante los últimos años el Coast and Geodetic Survey de los Estados Unidos ha contrastado sus péndulos en distintas estaciones básicas en Wáshington, D. C. Como se han empleado algunas estaciones pendulares canadienses en este estudio, será también probable que errores en las vinculaciones relativas de determinaciones pendulares entre Wáshington y Ottawa contribuyan al error standard.

---

(1) *Hayford and Bowie*, Special Publication Nº 10, U. S. Coast and Geodetic Survey, p. 87 (1910), and *A. H. Miller*, Publications of the Dominion Observatory, Vol. VIII, Nº 9, p. 251 (1929).

(2) *C. L. Garner*, Trans. Am. Geophysical Union, Part. II, págs. 184 - 186 (1940).

El error probable ϵ_k, de la constante del gravímetro ha disminuído a medida que el número de estaciones pendulares y el monto de la diferencia de gravedad ha aumentado. El ajuste del 2 de abril de 1943, dió un error en la constante del gravímetro que equivale a 0.024 %.

Puesto que la elección del punto de partida es arbitraria, el error en g_o se aplica a todas las estaciones. El valor de g_o tiene un ligero exceso de 0.1 miligal en los últimos ajustes.

Las estaciones de péndulo empleadas en la solución del 2 de abril de 1943, son adecuadas en precisión para calibrar los gravímetros empleados, porque el error de la constante multiplicada por el alcance de la lectura de los instrumentos (1000 graduaciones de escala) da una cifra que es del mismo orden de magnitud que los errores de lectura.

Los datos examinados muestran que el gravímetro puede emplearse para aumentar o extender las redes de las estaciones gravimétricas de péndulo sobre amplias superficies, sin perjuicio de la exactitud.

La calidad de los puntos fijos establecidos con el gravímetro puede ser mejorada mediante:

1. El establecimiento de marcas permanentes, además de las descripciones escritas y los croquis empleados hasta ahora.
2. El empleo de un sistema más rápido de transporte, puesto que el tiempo transcurrido es un factor que contribuye grandemente a la acumulación de errores.
3. El empleo de enlaces más firmes que los que suministra el método de looping. Las poligonales fundamentales se emplearán para el control, mientras que el método de poligonales de loops cerrados es suficientemente exacto para la mayoría de los fines.

CONSIDERACIONES FINALES

El Coast and Geodetic Survey proyecta, cuando las circunstancias lo permitan, el empleo libre de gravímetros para la determinación de g. Esta innovación no significa el abandono de las determinaciones de g con péndulo, pero ambos métodos deberían ser estrechamente coordinados; de ahí que la cantidad y ubicación de nuevas estaciones de péndulo se verán profundamente afectadas por el empleo de gravímetros.

Los problemas tratados por los autores se presentarán entonces

ligados a la obra del Coast and Geodetic Survey y es reconfortante saber que ya se han considerado y resuelto en parte.

Los residuos en las estaciones de péndulo que resulten de la compensación que se muestra en la Tabla II del artículo, son en general los que la experiencia previa nos ha hecho esperar, aunque hay algunos extraordinariamente grandes. Estos grandes residuos indican las estaciones donde las observaciones del péndulo y del gravímetro podrán, con provecho, ser ambas examinadas de nuevo y criticadas, determinando así donde conviene repetir previamente observaciones pendulares de g, a no ser que la discrepancia pueda ser explicada y corregida en alguna otra forma.

Walter D. Lambert
U. S. C. and G. S., Washington, D. C.

IMPRESO EN LOS TALLERES GRAFICOS
DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

BUENOS AIRES 15 - X - 1946
1ª. EDICION 750 EJ.

LAS PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

se hallan en venta al público en general en la **Sección Ventas, Avenida Ingeniero Huergo 251**, 1er. Subsuelo, U. T.: 34-5957.

Informes generales se solicitan en el Instituto Geográfico Militar (Sección Biblioteca y Publicaciones), Avenida Cabildo 381, U. T.: 76-3031, Interno 12.

A—Libros y Folletos

Para mayores datos pídase el Catálogo de Publicaciones Técnico-científicas.

La Serie "Folletos de Divulgación", a que pertenece el presente folleto, se compone de:

Nº 1—I. El Profesor Ilmari Bonsdorff, por W. Heiskanen; II. Las Triangulaciones del Instituto Geodésico de Finlandia, por V. R. Ölander. ..... $ 1.50

Nº 2—Corrección de las Mediciones de Angulos Horizontales debida a la Refracción Lateral, por T. J. Kukkamäki ..... „ 0.75

Nº 3—Memorándum sobre la Creación y Trabajos del Instituto Panamericano de Geografía e Historia y Resoluciones y Recomendaciones aprobadas en la I y II Reunión de Consulta sobre Geografía y Cartografía — Precedida esta última de una breve reseña de antecedentes. ..... „ 1.50

Nº 4—La Refracción Nivelítica, por T. J. Kukkamäki ..... „ 1.90

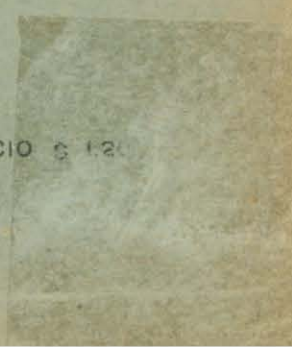
Nº 5—Empleo del Gravímetro, para el establecimiento de puntos fijos gravimétricos, por E. V. McCollum y Andrew Brown ..... „ 1.20

B—Cartas y Mapas

Para ilustrarse sobre las hojas aparecidas y sus precios, solicítese el **Catálogo del Material Cartográfico.** (Precio $ 0.75).

ES COPIA FIEL DE SU ORIGINAL

ES COPIA FIEL DE SU ORIGINAL

ERNESTO PEGUERA
OFIC. 6º
JEFE DE LA DIVISION REPUTEC

PRECIO $ 1.2