

110480

TA 545

D5

1899

v.1

TOPOGRAFIA GEODESIA

Y ASTRONOMIA PRACTICA

FRANCISCO DIAN GOVARRUBIAS

Esta obra es propiedad del autor conforme á las leyes.



FONDO ACERVO GENERAL



Biblioteca Nacional de México

1898

PRÓLOGO

DE LA PRIMERA EDICIÓN.

Esta obra, comenzada hace mucho tiempo, es natural que se resienta de las dilatadas interrupciones que ha sufrido. Algunas de las teorías desarrolladas en ella, consideradas hoy por mí bajo un punto de vista más práctico, demandarían acaso la revisión y reforma de capítulos enteros; trabajo que no puedo emprender en la actualidad, á causa de mis ocupaciones oficiales, y del mucho tiempo que tendría que demorar la publicación de este libro, no correspondiendo inmediatamente, como es mi deber, á la ilustrada y patriótica cooperación del Gobierno, quien se ha servido ordenar que se publique en sus prensas. Por otra parte, entre los inconvenientes de dar á luz una obra menos acabada, pero publicada con oportunidad, y los que resultan de retardar acaso indefinidamente su publicación, con el fin de tratar de darle más perfección, no he vacilado ni he debido vacilar. Los primeros pueden serme desfavorables como autor, sobre todo, habiendo las circunstancias de que mi libro se espera hace años, y de

que pocas personas saben que no me ha sido posible retocar-
lo; pero los segundos afectarían directamente á multitud de jó-
venes estudiantes que han carecido por mucho tiempo de una
obra propia para texto, y vístose, por tanto, en la necesidad
de acudir á libros extranjeros, algunos plagados de errores,
y todos inadecuados á las necesidades de nuestro país.

En efecto, la inmensa desproporción que existe todavía en
México entre la extensión territorial y la población, da por
resultado necesario la aglomeración de la propiedad en pocas
manos, y por consiguiente la considerable extensión de las
fincas rústicas, cuya medición constituye ordinariamente el
principal objeto y la más frecuente aplicación de las opera-
ciones topográficas. De este hecho se deduce que la Topogra-
fía, en la República, no debe tener límites tan reducidos como
en Europa, donde la propiedad territorial está muy dividida
á causa de la pequeñez del suelo respecto de la población; y
por eso en nuestro país, cuando un ingeniero desea operar
con toda la exactitud debida, halla insuficientes en muchos
casos los procedimientos puramente topográficos consignados
en las obras europeas. En ellas, por ejemplo, se admite in-
variablemente la hipótesis fundamental de la Topografía, á
saber: que una pequeña porción de la superficie de la tierra
puede considerarse como sensiblemente plana, y que todos
los meridianos terrestres comprendidos en ella son paralelos;
pero sin negar que esta hipótesis produce en muchísimos ca-
sos la exactitud suficiente, se comprende sin esfuerzo alguno
que hay otros en que origina errores de consideración, supe-
riores en magnitud á los errores posibles de la observación
directa. Así, por ejemplo, si se orientase una línea, y por
medio de la cadena trigonométrica se dedujese la orientación
de otra línea situada á mucha distancia al Oriente ó al Occi-

dente de la primera, es evidente que el paralelismo hipotéti-
co de los meridianos produciría un error de mucha importan-
cia y de no menor trascendencia, pues en nuestras latitudes
una distancia de 30 leguas sería bastante para originar más
de medio grado de error en la orientación deducida; y es bien
sabido que hay muchas propiedades en la República, en las
cuales pueden contarse distancias comparables á aquella.

Errores análogos se originarían en las nivelaciones trigo-
nométricas, si en una extensión considerable de terreno se
admitiese invariablemente la hipótesis de que son paralelas
las líneas verticales de todos sus puntos, razón por la cual
aun algunos tratados europeos, al ocuparse de la Nivelación,
se apartan de la hipótesis fundamental de la Topografía. Es-
tos ejemplos me parecen suficientes para probar la necesidad
que tenemos en México de dar más amplitud á la Topografía,
haciéndole participar algo de los procedimientos geodésicos,
si no con toda la rigurosa exactitud que corresponde á un
tratado especial de Geodesia, al menos con el grado de pre-
cisión que sea necesario para que, en ciertos casos especiales,
se pueda evitar la acumulación de los errores originados por
las causas antes mencionadas. Por eso, sin perder de vista esa
idea, y por otra parte, evitando cuidadosamente el caer en el
extremo contrario, cual es el de exagerar demasiado la nece-
sidad de una exactitud verdaderamente pueril, he procurado
trazar la marcha más conveniente para que el lector se halle
en aptitud de apreciar por sí mismo el grado de precisión que
debe emplear en determinadas circunstancias. En las apli-
caciones de la ciencia matemática, el verdadero saber consiste,
más bien que en el uso ciego y sistemático de vastos conoci-
mientos teóricos, en la acertada asignación del grado de exac-
titud práctica que en cada caso se necesita.

El tomo I de mi obra está dividido en cuatro partes. La primera trata de la Planimetría ó levantamiento de planos; la segunda de la Agrimensura; la tercera de la Agrodésia ó división de los terrenos; y la cuarta de la Nivelación.

La parte primera está subdividida en dos secciones, destinada la una á las operaciones generales que abrazan el conjunto del terreno, y que por esta razón llamo *Planimetría general ó Triangulación*, y la otra á las operaciones de detalle que designo con el nombre de *Planimetría parcial*. Como el orden con que trato cada una de estas operaciones, que es el mismo en que se han mencionado, es enteramente contrario al que siguen cuantos autores han llegado á mis manos, me creo obligado á exponer las razones que me han inducido á proceder así. En primer lugar, juzgo que las operaciones fundamentales que constituyen lo que comunmente se llama *Triangulación*, teniendo por objeto suministrar la posición de cierto número de puntos que sirvan de apoyo á las operaciones secundarias, deben ser expuestas antes que estas últimas. En segundo lugar, en la práctica del levantamiento de planos, casi invariablemente se sigue el mismo orden, fijándose la posición de algunos puntos trigonométricos antes de dar principio á las operaciones que sirven para configurar los diversos accidentes y las divisiones naturales ó artificiales del terreno. En tercer lugar, las operaciones trigonométricas, sujetas sólo á un corto número de sencillísimas reglas, permiten una marcha más sistemática, más general, y por tanto más fácil que los procedimientos de la planimetría parcial, los cuales dependen en más alto grado de las condiciones del terreno. Además de todas estas razones, es un hecho que una vez familiarizado el operador con los procedimientos trigonométricos, y con el uso de los instrumentos más perfectos

que se emplean en la triangulación, no encuentra dificultad alguna en los métodos é instrumentos aplicables á la planimetría parcial, lo cual evita multitud de repeticiones al exponer la parte teórica de los primeros y las rectificaciones de los segundos.

Después de la Agrimensura, y como una aplicación de ésta y de la Planimetría, expongo, con el nombre de *Agrodésia*, el conjunto de procedimientos que se aplican á la división ó fraccionamiento de los terrenos. Esta aplicación de la Geometría se designaba antiguamente con el nombre de *Geodesia*; pero desde que esta última voz se ha consagrado á la denominación de la ciencia vastísima que abraza el conjunto de las teorías concernientes á la forma y magnitud del globo terrestre y de sus grandes divisiones, los geómetras franceses han hecho uso de la palabra *Poligonometría*, que literalmente significa *medición de polígonos*, y que por tanto no indica la idea de *división de terrenos*, objeto único de la parte de la ciencia que con ella se intentaba designar. La palabra *Agrodésia*, introducida por mí, está derivada de dos voces griegas que significan, la primera *campo, heredad*, y la segunda *división, distribución*, por lo cual me parece más propia para el objeto.

La Geodesia, contenida en el Tomo II, está dividida en tres partes, destinada la primera á enseñar las aplicaciones más usuales de la ciencia, partiendo de la forma y dimensiones de la tierra, tales como se conocen hoy; la segunda á la exposición de los métodos de investigación que se han aplicado y se aplican para llegar á aquellos resultados; y la tercera á establecer los principios más esenciales de la Astronomía práctica, complemento indispensable de la Geodesia.

Para concluir, sólo me resta manifestar el sincero deseo

que me anima de que mis esfuerzos produzcan algún resultado, y de que la juventud mexicana, á quien especialmente dedico este libro, vea en él una prueba del ardiente interés que siempre me han inspirado sus adelantos, que son los de la patria.

ADVERTENCIA

REFERENTE A LA SEGUNDA EDICIÓN.

La iniciativa, tan atenta y delicada como espontánea, del Gobierno Mexicano, y la subvención que se sirvió asignar para la reimpresión de esta obra, han dado origen á su segunda edición, que hoy ve la luz pública. De ninguna manera podía yo corresponder más dignamente á tan generoso interés, como poniendo todo mi empeño en procurar que la actual edición resulte libre de varias erratas que no pudieron evitarse en la primera, y aumentada con algunas adiciones de importancia, que brevemente indicaré.

Antes de hacerlo, debo sin embargo advertir que ninguna de las materias contenidas en la anterior se ha omitido, ni en todo ni en parte, al preparar la presente edición; pues aunque algunas podrían haberse reducido, como son las tablas del primer tomo que suministran las horas del tránsito y los azimutes de la estrella Polar en los años que preceden al actual, me pareció preferible dejarlas tales como se publicaron en la primera, atendiendo á que tal vez sean todavía útiles para repetir ó comprobar cálculos de observaciones ejecutadas en épocas anteriores. Tampoco he juzgado conveniente omitir las teorías y las aplicaciones de algunos instrumentos

cuyo uso es bastante limitado, y que se emplean ya poco en el día; porque siempre he seguido el sistema de no prescribir ni proibir determinados métodos ó determinados instrumentos, teniendo la convicción de que todos ellos pueden prestar buenos servicios cuando se emplean con discernimiento. "No hay métodos malos," ha dicho un sabio contemporáneo, "lo que sí hay es malos observadores." Lo mismo, en mi opinión, puede decirse de los instrumentos: uno defectuoso, en manos hábiles, es sin duda más útil que otro instrumento perfecto en manos ineptas.

Pasemos á los aumentos que juzgo dignos de interés en la edición actual. He adicionado el Capítulo relativo á las bases topográficas, con varios procedimientos que permiten la determinación, ó sea el cálculo, de una base extensa, partiendo de la medida directa de otra más pequeña; y para lograrlo, he demostrado nuevas propiedades de los triángulos. Muchos topógrafos son de opinión que una base corta es preferible á una grande en atención á que se presta mejor á la medida exacta, ó por mejor decir, á la múltiple repetición de medidas que conduce á un conocimiento más exacto de su verdadera longitud, repetición que es casi impracticable, ó al ménos tediosa y dilatada en extremo, cuando se trata de una línea muy extensa. A esta verdad innegable puede agregarse otra razón en favor de las bases pequeñas, y es la de que, en países montañosos como el nuestro, no siempre es fácil hallar terrenos planos, despejados, extensos y dotados de las demás condiciones que son de desearse para el trazo y la medida de una gran base. Espero, pues, que las cuatro ó cinco resoluciones del problema que ofrezco á mis lectores, podrán serles útiles en muchos casos.

En el Capítulo relativo á la estadía, he añadido un proce-

dimiento dirigido á determinar la constante principal de ese instrumento, por medio de la combinación sistemática, y libre de arbitrariedad, de todas las observaciones practicadas al efecto. En el referente á la nivelación barométrica, he aumentado la tabla que contiene los logaritmos del factor debido á las temperaturas del aire; pues algunas aplicaciones han dado á conocer que no era bastante extensa para servir en ciertas circunstancias extremas, que no son raras cuando se opera en las partes más cálidas de nuestro país. También he añadido una pequeña tabla de correcciones para tomar en cuenta, cuando se quiera, la altura de la estación inferior sobre el nivel del mar.

En el Capítulo que trata de la nivelación termo-barométrica, he agregado, con un ejemplo, el modo de determinar y tomar en cuenta los errores del hipsómetro, y que puede también aplicarse al barómetro aneroides.

La primera parte de la Geodesia ha recibido igualmente el aumento de nuevas expresiones para calcular las líneas del elipsoide terrestre, en función de la latitud llamada *correspondiente*, y que puede deducirse de la latitud geográfica de un punto dado. Las nuevas fórmulas se prestan, tal vez mejor que las usuales, á las aplicaciones logarítmicas.

La Astronomía práctica tiene tres adiciones importantes. Es la primera el método para tomar en cuenta los cambios de azimut de las estrellas circumpolares muy próximas al polo, cuando se observan en las inmediaciones de sus máximas elongaciones con el fin de orientar una línea dada. Por ese procedimiento pueden prolongarse durante mucho tiempo las observaciones, antes ó después de cada digresión, sin temer el error que pudiera producir el leve movimiento azimutal de aquellos astros. La segunda adición consiste en las

fórmulas y parte de las tablas que, hace tres años, presenté al Ministerio de Fomento, y cuyo objeto es el de orientar una línea, ó sea el de determinar la dirección de la meridiana, por medio de la observación, casi simultánea, de dos estrellas circumpolares en los momentos de sus máximas digresiones. Finalmente, la tercera adición es la de un Capítulo destinado á la exposición de mi nuevo método para determinar simultáneamente la latitud y la hora de un lugar. Este procedimiento, al que algunos astrónomos, y entre ellos mi inolvidable difunto amigo D. Francisco Jiménez, han dado mi nombre, es el mismo que publiqué en el Japón á fines de 1874, y que llamé *método mexicano*. La precisión de los resultados que proporciona, y la benévola acogida que halló en el público, me prescriben el deber de ofrecerlo en esta obra á mis nuevos lectores.

Tales son las principales mejoras que me ha sido dado introducir en la presente edición; pues no cuento como tales algunas ligeras modificaciones en el estilo, así como otros aumentos y cambios insignificantes ó de interés muy secundario. Si ella recibe el mismo favor con que fué acogida la primera, por el público nacional y extranjero, y si contribuye á la instrucción de nuestros jóvenes ingenieros, creeré haber conseguido secundar, como debía hacerlo, la ilustrada mira del Gobierno, y veré recompensados mis esfuerzos con el logro de la que fué una constante aspiración de mi vida, la seguridad de haber sido útil en alguna manera á mi país.

Paris, Agosto 1º de 1883.

F. Diaz C.

En esta fórmula, c está expresado en partes del radio; si se quisiera introducir por su número de minutos, bastaría multiplicarlo por $\text{sen. } 1'$ (*), y entonces haciendo la constante $\frac{1}{2} R \text{sen.}^3 1' = a$, se tendrá:

$$d = ac^3 \quad \text{log. } a = 5.11592.$$

Para aplicar nuestra fórmula, veamos qué error resulta de suponer plano un casco esférico de medio grado de amplitud. Se tiene, pues: $c = 30'$

log. a	5.11592	
log. $(30')^3$	4.43136	
		9.54728
log. d	9.54728 $d = 0^m 35$

Si, por el contrario, se desea saber cuál debe ser el valor de c para que en la misma hipótesis el error no exceda de 2 metros, la fórmula dará: $c = \left(\frac{d}{a}\right)^{\frac{1}{3}}$ en la que $d = 2^m$.

log. 2.....	0.30103	
log. a	5.11592	
		5.18511
		—
log. $\sqrt[3]{}$	1.72837 $c = 35'.5$

Así, pues, la diferencia entre un arco de $53'.5$, que corresponde próximamente á 24 leguas mexicanas, y su tangente, no es más que de 2^m , de manera que una extensión de 10 á 12 leguas de radio puede suponerse plana sin gran error, ó por lo menos el que resulta entra en el orden de los inherentes á las observaciones mismas.

(*) Si m es la longitud de un arco pequeño expresada en partes del radio, y m' el número de minutos que contiene, se tendrá: $m = m' \times \text{arco } 1'$. Como la extensión del arco de $1'$ es sensiblemente igual á la de su seno, la ecuación anterior será:

$$m = m' \text{sen. } 1'$$

De la misma manera si quisiéramos representar á m por su número de segundos m'' se multiplicaría esta última cantidad por $\text{sen. } 1''$ y se tendría: $m = m'' \text{sen } 1''$.

3. A pesar de lo que llevamos dicho, las operaciones topográficas pueden extenderse casi indefinidamente apoyadas en otras de un orden superior de que trataremos en la *Geodesia*, las cuales, suministrando de trecho en trecho puntos fijos perfectamente determinados, sirven á la vez de base y de comprobación á las operaciones topográficas, dividiendo, por decirlo así, su marcha, á fin de que los pequeños errores inevitables de observación no se propaguen. De este modo puede formarse la topografía de una nación entera, pues si suponemos que por trabajos geodésicos se han situado de diez en diez leguas, por ejemplo, puntos de rectificación, las operaciones topográficas no salen verdaderamente de los límites que les hemos fijado, terminándose en realidad en cada punto geodésico para continuarlas hasta el más inmediato, independientemente de las que se practicaron antes, y así, procediendo por partes, se evita la acumulación de errores.

Vamos, pues, á ocuparnos en los métodos que se siguen para la descripción de terrenos que no excedan de 1° de amplitud, quiere decir, de unas 26 leguas de diámetro, ó cosa de 500 leguas cuadradas de superficie.

La triangulación no es absolutamente indispensable, es muy posible, la triangulación no es absolutamente indispensable; lo mismo que con respecto á la Topografía, no lo son las operaciones geodésicas; si el terreno no excede de 12 ó 20 leguas de extensión; pero en general, la utilidad que debe existir entre las secciones sueltas en proporción de la división de los errores, que se consiguen apoyándose en los puntos fijos por una triangulación precisa del terreno; y por eso me parece conveniente señalar que, cuando se desee proceder en las operaciones trigonométricas, sean en superficies de una ó dos leguas cuadradas, tales que en casos verdaderamente excepcionales. Por otra parte, la determinación de algunos puntos trigonométricos no es necesaria para la descripción de los terrenos, sino para la triangulación y para las operaciones trigonométricas.

PARTE PRIMERA.

PLANOMETRÍA Ó LEVANTAMIENTO DE PLANOS.

CAPITULO I.

DE LA TRIANGULACIÓN EN GENERAL.

4. Esta parte de la Topografía se divide en dos clases de operaciones de distinta naturaleza. La primera, que designaremos con el nombre de *triangulación* ó planimetría general, tiene por objeto determinar la posición de cierto número de puntos enlazados entre sí, y escogidos entre los más notables que ofrece el terreno. La segunda, llamada *levantamiento de detalles*, ó mejor planimetría parcial, se ocupa de fijar con relación á los puntos suministrados por la triangulación, todos los demás para completar la configuración y situación relativa de los objetos. La diferencia entre estas dos partes del levantamiento, es análoga á la que hemos establecido entre las operaciones geodésicas y las topográficas; pues así como estas últimas deben subordinarse á las primeras, así la planimetría parcial, que descende á los pormenores, se sujeta á las rectificaciones y bases que le proporciona la triangulación, la cual sólo abraza el conjunto del terreno.