
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

MEMORIA

ACERCA DE LA FORMACION DEL

PLANO TOPOGRÁFICO DE CHILE

PRESENTADA AL

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

POR

ALEJANDRO BERTRAND

INJENIERO

Profesor de Topografía i Jeodesía de la Universidad, Delegado de Chile a la Asociación
Jeodésica Internacional (Conferencia de Jinebra) en 1893.

INTRODUCCION

UTILIDAD DE LOS PLANOS TOPOGRÁFICOS NACIONALES

«Para gobernar bien un estado, es
menester conocerlo bien».

(Respuesta del Emperador José II
a los representantes Húngaros que
protestaban contra la mensura de sus
tierras).

El hacendado progresista que quiere introducir mejoras en su heredad, trazar caminos, abrir desagües i canales, tender alambrados, experimentar abonos, someter en fin, sus tierras a un plan metódico de explotación i calcular sus rendimientos, principia por hacer *levantar el plano de su fundo*.

El municipio de todo centro urbano en estado de desarrollo, que cede a la necesidad de aumentar, ensanchar o rectificar las vías de comunicación, de atender al alumbrado de las calles, a la provision de aguas potables i escurrimiento de las de lluvia i usadas, no puede emprender tales reformas sin disponer de *un plano minucioso de la ciudad*.

Así tambien todo pais que aspira a merecer el título de civilizado, requiere para ser regularmente administrado, para ver desterrados poco a poco el capricho i el azar del trazo de sus caminos i de sus delimitaciones políticas, para que todas las mejoras que se emprendan puedan incorporarse a un plan jeneral; requiere, decimos, *un buen plano topográfico*.

Aunque podemos invocar hoi dia, con sinceridad, i esperamos que con éxito, estas razones de civilizacion, para probar la necesidad de un conocimiento mas preciso que el que poseemos del suelo patrio en toda su estension i detalles, hai que confesar, que no han sido ellas las que primero han impelido a la ejecucion de trabajos análogos en la vieja Europa. Razones de estrategia han sido las que desde el siglo XVI decidieron algunos estados alemanes (Sajonia, Baviera, Wurtemberg) a emprender levantamientos precisos, i a reemplazar los mapas o cróquis meramente jeográficos por planos en los cuales se pudiera medir el largo de los caminos, i estudiar las líneas jenerales de invasion o defensa. De ahí proviene que el estudio de la topografia fuese desde ese tiempo un anexo del arte de la guerra i que desde fines del siglo XVII existiese ya en Francia una Oficina Topográfica Militar que se ocupaba de levantamientos.

Sin embargo, solo un siglo mas tarde se emprendieron las triangulaciones metódicas i precisas que sirvieron de fundamento a la célebre *carta de Francia de Cassini*,

Durante el siglo actual, reconocida como ineludible la necesidad de planos topográficos de conjunto, sucesivamente han iniciado i llevado a cabo su ejecucion, la Inglaterra, Austria, los

reinos Alemanes, Holanda, Suiza, España, Italia i hoi todos los demas estados Europeos i sus colonias de la América, la India i Oceanía, Estados Unidos, Méjico i en el extremo oriente, el Japon.

Por otra parte, las cartas de navegacion cuya necesidad se habia hecho palpable desde una remota antigüedad, pero en las cuales el rasgo de la costa se diseñaba ántes de un modo mui imperfecto, se han ido perfeccionando i completando con una mas exacta i estensa topografía del litoral, en el cual se ejecutan ahora triangulaciones ligadas con las del interior, allí donde existen éstas.

Igual cosa pasa con las mensuras de tierras para propósitos catastrales; estas mensuras que se llaman en Europa *planos parcelarios*, hechas sin mas objeto que el de conocer la cabida de cada propiedad a fin de aplicarle la tasa del impuesto, se practicaban en Francia, Alemania, Suiza, Italia, de un modo aislado, formando cada comuna sus planos sin conexion con las de las comunas colindantes, siguiéndose de allí que el vasto trabajo del catastro no podia aprovecharse para formar planos topográficos de conjunto. Actualmente los paises que hemos nombrado i que rehacen su catastro, toman como puntos de partida las señales trigonométricas del plano topográfico jeneral, las que sirven a la vez para las rectificaciones de orientacion i de medida.

El catastro asi formado en virtud de leyes especiales, es ahora un registro gráfico de la propiedad, tiene valor legal i concluye de una vez, en los paises donde se ha instituido, con todos los pleitos sobre la demarcacion de las propiedades particulares.

En un pais como Chile, donde la hidrografía de las costas solo se conoce por esploraciones, desligadas entre sí; donde el catastro se limita a algunos planos de tierras fiscales, i cuyo levantamiento jeodésico, iniciado con suma imperfeccion, i del cual no ha quedado huella, debe comenzarse de nuevo, es fá-

cil formar el programa de la sucesion de procedimientos que comprende la elaboracion de una carta topográfica completa.

Las operaciones que semejante trabajo comprende, son en su orden de evolucion metódica:

- I. Operaciones jeodésicas.
- II. Id. topográficas.
- III. Catastro.
- IV. Nivelacion jeneral.
- V. Cartografía.

Los trabajos JEODÉSICOS que se ejecutan para servir de base a un plano topográfico, se reducen a determinar con precision la posicion de un cierto número de puntos del territorio. La posicion de estos puntos ha de quedar fijo de un modo absoluto i relativo; es decir, se han de conocer, no solo las *distancias* exactas de un punto a otro sino tambien la *direccion* de las líneas de union respecto al meridiano de cada punto, así como la *latitud* i *longitud* de cada uno de los puntos

Los trabajos TOPOGRÁFICOS consisten en obtener, como lo indica la etimología de la palabra (1) una descripcion gráfica de los *accidentes* i *relieves naturales* del terreno, refiriendo las posiciones de todos los puntos a las de aquellos de la red jeodésica.

Los levantamientos CATASTRALES se concretan a la ubicacion de los *deslindes artificiales* i a la separacion de los diversos cultivos i terrenos de diverso valor.

(1) *Topos*, terreno; *graphein*, describir.

Las operaciones de NIVELACION, anexas hoy a toda carta topográfica, tienden a establecer el verdadero relieve del suelo, de un modo bastante exacto para suministrar una primera base de estudio a todos aquellos trabajos públicos que requieren un considerable movimiento de tierras.

Finalmente, el arte CARTOGRAFICO es el que permite dar una forma gráfica i accesible a los resultados obtenidos de las operaciones anteriores, i comprende no solo los sistemas de proyeccion i dibujo a diversas escalas, sino tambien los procedimientos de grabado, reproduccion i reduccion de los mapas i planos.

Cada uno de los órdenes de operaciones que hemos enumerado, requiere métodos, operarios e instrumentos especiales; en la larga i continua esperiencia adquirida en estos trabajos durante el presente siglo se han ido perfeccionando unos i otros de tal manera, i se ha dado tan amplia publicidad a los resultados obtenidos en cada caso, que no es difícil practicar un estudio comparativo de estos medios i arribar en consecuencia a una seleccion racional.

Aprovechar de la esperiencia que el progreso del siglo nos ofrece, estudiando los medios e instrumentos que aquella nos muestre mas adaptaos a las condiciones del pais, es el objeto de las siguientes páginas. Para someter a la discusion las conclusiones a que llegamos, hemos creído indispensable esponer con algun detalle los trabajos envueltos en cada orden de operaciones, así como los medios de accion empleados en los diversos paises, i dar las razones que nos guian para la eleccion.



CAPÍTULO I

EJECUCION DE LOS PLANOS TOPOGRÁFICOS NACIONALES

§ I.—OPERACIONES JEODÉSICAS

La direccion de los trabajos jeodésicos, es jeneralmente confiada a una *Comision Jeodésica*, la cual subdivide estos trabajos, encomendándolos a diversas secciones especiales. De estos trabajos, unos son encaminados a suministrar bases jenerales de cálculo i proyeccion i un punto de partida para las posiciones jeográficas de los puntos; otras forman parte del levantamiento propiamente dicho.

Segun su órden teórico de sucesion, son estos trabajos:

- 1).—Fijacion astronómica de las coordenados de uno o varios puntos iniciales, i de los azimutes verdaderos de algunas direcciones.
- 2).—Operaciones encaminadas a precisar la figura de la tierra, i la intensidad de la gravedad.
- 3).—Medicion de bases.
- 4).—Triangulacion fundamental.
- 5).—Triangulacion secundaria.

Decimos que éste es su órden *teórico*, por cuanto, aunque a primera vista parece lójico que no se puede calcular los lados de los triángulos sin tener la medida de las bases, ni determinar posiciones jeográficas sin tener los elementos del esferóide, en la práctica todas estas operaciones se efectúan simultáneamente, o su órden es determinado por otras circunstancias; o bien los cálculos pueden efectuarse con valores provisorios, i mas tarde introducirse correcciones.

Observaciones astronómicas. — Los trabajos de esta clase que requiere la ejecucion de un plano topográfico nacional, son de dos índoles diversas: los primeros que se practican en Observatorios fijos, i con instrumentos inamovibles, son destinados a obtener las coordenadas jeográficas de esos puntos, que se elijen invariablemente como iniciales, a cuyo fin se ligan despues con los vértices mas próximos de primer orden.

La segunda clase de observaciones astronómicas la forman aquellas que se hacen con instrumentos trasportables en ciertas estaciones jeodésicas de primer orden; los resultados de éstas observaciones, sirven hasta cierto punto como comprobantes de los trabajos jeodésicos; mas el grado de precision que se obtiene actualmente en éstos últimos, deja siempre subsistentes ciertas diverjencias sistemáticas, que como luego veremos, concurren como elementos importantes a la mejor determinacion de la figura de la tierra.

Los resultados suministrados por los Observatorios fijos son derivados de las observaciones practicadas por el personal de esos establecimientos, i no se tomarán en consideracion en el presente estudio.

Los trabajos que se ejecutan en las estaciones astronómico-jeodésicas se encaminan esencialmente a obtener tres resultados: la *latitud*, la *longitud* i direccion del *meridiano*, *aparentes* (o astronómicos) en el lugar de observacion.

Aunque hai cierta variedad de métodos i de instrumentos para obtener esos resultados, la experiencia ha restringido bastante los términos dentro de los cuales se puede hacer una buena seleccion, i nos será fácil resumir en breves líneas las conclusiones que deducimos al respecto de la práctica moderna en Suiza, Inglaterra, Alemania, Italia, i especialmente en los Estados Unidos.

Longitud. — La determinacion de la longitud de un lugar con respecto a otro consta de dos partes: determinacion de la hora

local, en cada uno de los puntos i trasmision de señales de un lugar a otro. Para la primera operacion, se practica la observacion del paso de cierto número de estrellas por el meridiano, por medio de un «Instrumento de pasos» trasportable, sucesivamente en el mas oriental i en el mas occidental de ambos puntos de estacion; el momento de los pasos se registra por medio de péndulos astronómicos o cronómetros que marcan el medio segundo.

La trasmision de señales para establecer la comparacion simultánea de los relojes en las dos estaciones se hace hoi exclusivamente por medio del telégrafo eléctrico, empleándose al efecto aparatos registradores automáticos denominados *electro-cronógrafos*; con estos medios perfeccionados no queda mas causa subsistente de error que la parte de «ecuacion personal» de los observadores correspondiente a la apreciacion del momento físico en que los hilos del micrómetro bisectan cada estrella. Existen tres medios de atenuar o de eliminar esta causa de error; el primero comunmente empleado en Europa es el cambio de observadores de una estacion a otra; el segundo ensayado en E.E. U.U. i en Suiza con éxito variable, es un aparato «de estrellas artificiales», por medio del cual cada observador puede determinar su ecuacion personal (2), i el tercero consiste en el empleo de *oculares fotocronográficos*, que registran simultáneamente la posicion de las estrellas en los retículos de los instrumentos de ambas estaciones (3).

Con instrumentos trasportables de 60 a 120 centímetros de distancia focal, despues de repetir los cambios de señales por lo

(2) Puede verse la descripcion i uso de este aparato en la publicacion «U. S. geographical surveys west of the 100th meridian»; vol. II; (1877). *Astronomy and barometric hypsometry*, pp. 473-483; *On the determination of personal equations*.

(3) Los resultados de este procedimiento se han publicado en «The Photocronograph and its application to star transits.—Georgetown College Observatory».

ménos cinco veces, se ha obtenido en Estados Unidos diferencias de longitud afectadas de errores probables de 2 a 5 centésimos de segundo de tiempo, equivalentes próximamente a 5 o 10^m, según las latitudes.

Latitud.—El método que mas tiende a jeneralizarse en la actualidad para la determinacion de latitudes es el que consiste en medir directamente la diferencia de las distancias cenitales de dos estrellas, al norte i sur del cenit, en sus respectivas culminaciones. Este procedimiento ofrece la gran ventaja de eliminar por completo ciertos errores instrumentales, las incertidumbres provenientes de los coeficientes dudosos de refraccion, i de hacerse todas las medidas por medio del micrómetro i del nivel que son los medios mas perfectos de medir ángulos, usados hasta ahora. El defecto del método consiste en que hai que valerse de estrellas de pequeña magnitud cuyas declinaciones no estan determinadas con la misma precision que las fundamentales; ese defecto va desapareciendo día a día con la cooperacion de los observatorios fijos.

El instrumento especialmente dedicado a esta clase de observaciones, denominado *Telescopio Cenital* por su inventor, el capitán norte-americano Talcott, se ha jeneralizado ahora en Inglaterra, Italia i Alemania, donde se emplea con éxito en las operaciones mas delicadas de alta jeodesia. Es fácil transformar en telescopio cenital un antejo de pasos, dotándolo de un aparato de reversion, de un nivel adecuado, e invirtiendo el sentido del micrómetro. Se fabrican tambien actualmente instrumentos «combinados» que sirven así para las observaciones de latitud i longitud.

Para dar una idea de la exactitud del método de Talcott, bastará mencionar que en las observaciones practicadas en 1891 i 1892 en Honolulu (islas Sandwich) por el Dr. Marcuse, por cuenta del Instituto Jeodésico de Prusia para estudiar la variacion de la latitud, cada grupo de observaciones, de unas 40 pa-

rejas de estrellas observadas en 3 noches, dió diverjencias respecto del valor probable que no excedian de *un décimo de segundo de arco*, sea 2,5 metros (4).

Azimutes.—El azimut astronómico de una línea jeodésica se determina por medio de la observacion de estrellas próximas al polo preferentemente en o cerca de sus máximas digresiones, i midiendo los ángulos horizontales entre estas direcciones i la de un colimador o señal óptica referido a la línea jeodésica. Los instrumentos empleados son teodolitos jeodésicos, o «universales» con limbo horizontal de 20 a 50 centímetros de diámetro, provistos de buenos anteojos, i cuya apreciacion azimutal por medio de microscopios no baja de 1 o 2 segundos (5).

(4) «Resultate der Beobachtungreihe in Honolulu», Berlin, 1892.

(5) NOTA BIBLIOGRÁFICA.—La esposicion teórica de los métodos usados para la determinacion astronómica de las coordenadas jeográficas se halla en todos los tratados de Astronomía esférica, entre los cuales recomendamos como un monumento didáctico la *Spherical and Practical Astronomy* por *William Chauvenet*, profesor de Astronomía en la «Washington University» de la ciudad de Saint Louis (E. E. U. U. de N. A.) Esta obra majistral consta de dos tomos, el primero de los cuales comprende la esposicion teórica i práctica de los métodos, ilustrada con ejemplos numéricos tomados de la esperiencia; i el segundo del uso de los instrumentos, comprendiendo los trasportables para comisiones jeodésicas.

Una parte del material contenido en Chauvenet, pero con deficiencias (especialmente en la determinacion de la latitud), ha sido vertido al castellano por el señor Francisco Beuf, director del Observatorio de la Plata, en su *Tratado de Jeodesia i Topografia*, (Buenos Aires, 1886). Una excelente i condensada discusion acerca de los métodos que nos ocupan se halla en el cap. VIII «Instruments and Observing» de la *Geodesy* del coronel inglés A. R. Clarke, publicado en Oxford en 1880 i de la cual se ha publicado recientemente una edicion en castellano.

Las monografías mas completas que conocemos acerca de las labores astronómicas de una comision Jeodésica, están reunidas bajo el título *Determination of Time, Longitude, Latitude and Azimuth* en un opúsculo oficial publicado en Washington, como reimpression del Apéndice n.º 14 al Anuario para 1880 de la

El error probable de las direcciones determinadas en Europa, oscila entre 0,51 i 1^s, segun los instrumentos i los métodos empleados.

oficina del *Coast and Geodetic Survey*. Puede considerarse como un resumen sucinto del anterior el capítulo II de *A Manual of Topographic Methods* (Washington, 1893), publicacion del «U. S. Geological Survey».

Las reglas para ejecutar estos trabajos pueden tambien inspirarse en las *Instrucciones para los trabajos jeodésicos* publicados en Madrid (1878) por la «Direccion Jeneral del Instituto Jeográfico i Estadístico». En el capítulo de dichas Instrucciones titulado: «Diferencias de longitud, latitudes i azimutes», (páginas 192-380) contienen todos los detalles prácticos necesarios, ilustrados con ejemplos i referencias a las «Memorias» anuales del nombrado Instituto.

La comparacion entre los resultados obtenidos en Europa en la determinacion de coordenadas jeográficas i azimutes con diversos métodos e instrumentos está hecha en un cuadro completo de estas operaciones, presentado a la «Asociacion Jeodésica Internacional» con un informe del sabio director del Observatorio de Leiden (Holanda), M. Sande Backhuysen, informe anexo a las actas de dicha Asociacion (*Comptes rendus de la 10 conférence générale de l'Ass. Géod. Int.* Berlin 1893; pp. 199-487).

Un estudio análogo respecto a una vasta rejion de los E. E. U. U. podria basarse en los resultados consignados en el cap. IV «Astronomical Determinations» de la obra titulada *Primary triangulation, U. S. Lake Survey*, Washington, 1882,

NOTA ACERCA DE LOS INSTRUMENTOS TRASPORTABLES PARA COMISIONES JEODÉSICAS.—El número de fabricantes dignos de toda confianza, que construyen corrientemente esta clase de instrumentos es bastante reducido.

Hacemos simplemente mencion de las casas de BRÜNNER hermanos: P. GAUTIER (antes Eichens), de Paris, la primera de las cuales ha suministrado casi esclusivamente el instrumental jeodésico-astronómico del Estado Mayor Francés i actualmente ha liquidado, segun entendemos, sus negocios. El segundo se dedica mas bien a instrumentos de Observatorio.

Los fabricantes alemanes, entre los cuales descolló largo tiempo la casa de PISTOR I MARTINS (Berlin), son aun preferidos, especialmente para instrumentos de paso, en España, Italia, Rusia i otros paises. Figuran en primera línea la antigua casa de REPSOLD e hijo, (Borgfelder Mittelweg, 96; *Hamburgo*), la de ERTEL e hijo (Louisenstrasse 120; *Munich*) i las de Julius WANSCHAFF (Eliza-

Figura de la tierra.—Desde principios del siglo XVII se comprendió la necesidad de obtener datos mas precisos que los que entónces existian acerca de la forma i dimensiones de la Tierra, para poder reproducir correctamente

bethufer, 1; *Berlin*) i Carl BAMBERG (Kaiser Allee, 39; *Friedenau* bei Berlin). Hé aquí los precios actuales de venta de algunos instrumentos de estos fabricantes:

(Del catálogo de Bamberg).

Anteos de pasos trasportables, de anteojo acodado; distancias focales de 43, 65, 68, 76 i 89 centímetros, respectivamente 1,000, 1,600, 2,000, 2,800 i 3,450 marcos. Por un aumento de 500 márcos, el instrumento viene provisto de los accesorios adecuados al empleo del método de Talcott para la Latitud.

Telescopios cenitales con anteos de 2, 3, 4 pulgadas inglesas de abertura objetiva, 3,6000, 4,500 i 6,000 marcos, (del catálogo de *Wanschaff*).

Anteos de pasos trasportables de anteojo acodado; distancias focales de 43, 57, 89 centímetros; 1,080, 1,860, 2,450 marcos, con accesorios para el método de Talcott.

(Del catálogo de *Ertel*).

Anteos de pasos trasportables, de anteojo acodado, de 65, 74 centímetros distancia focal; 2,400; 3,000 marcos.

En Inglaterra existe el taller de instrumentos cuyos productos están mas universalmente esparcidos, merced a su fabricacion intachable; es el de la antigua firma de TROUGHTON & SIMMS, (138, Fleet street, *Londres*). A pesar de la justa nombradía de esta casa, sus precios no son superiores a los de otra cualquiera, como puede juzgarse por los siguientes:

Anteojo de pasos (tubo rectilíneo) de 20" distancia focal (50 cm.) 25 a 30 £, segun los accesorios, trípode, etc.

Id. de 30" (75 cm.) 40 a 65 £; este último precio con aparato de inversion.

Id. de 30" (91 cm.) 75 a 100 £.

Telescopio cenital de 24" a 30", distancia focal, i 2 1/2" abertura, 85 a 100 £, con trípode desarmable.

En Estados Unidos de Norte América, solo mencionaremos la casa de SAEG-MULLER (ántes Fauth i C.^a) proveedores de varios servicios oficiales. Sus precios, mas elevados que los alemanes o ingleses, son los siguientes:

sobre un mapa la verdadera figura de un país cualquiera. (6) Creíase entonces que la tierra era esférica i que se podría calcular el largo de un meridiano sobre la base de un solo arco. En la segunda mitad de ese siglo Newton demostró el achatamiento de la Tierra, i se hizo sensible la necesidad de medir arcos a diversas distancias del Ecuador.

La Francia, a quien cabe el honor de la iniciativa en este trabajo, hizo medir, además de un largo trecho de meridiano en el propio suelo, otros dos en Laponia i en el Perú, este último cerca del Ecuador. Estas medidas, aunque no muy exactas, confirmaron el achatamiento terrestre.

Desde entonces se ha practicado en Europa, en la India, en Norte América i en el Sur de África, numerosas medidas de arcos de meridiano i de paralelo, que adelantan nuestros conocimientos acerca de la verdadera *figura de la tierra*. Estas medidas, sin embargo han demostrado que, si bien nuestro planeta puede considerarse como un *esferoide* o sea un *elipsoide de revolucion*, siempre que se trate de estudios jenerales o de conjunto, su verdadera figura jeodésica se aparta a trechos sensi-

Instrumento combinado de Davidson, para pasos i distancias cenitales, de 28" distancia focal, \$ 1,000 a 1,200 (el último perfeccionado, tal como se usa en el U. S. Geological Survey).

<i>Anteojo de pasos</i> de 42"	\$ 790.00
<i>Anteojo cenital</i> de 3" apertura	1,000.00
<i>Cronógrafo eléctrico</i>	335.00

En Italia, debemos hacer mencion de la casa constructora titulada ISTITUTO OTTICO MATEMÁTICO de Milan, fundada en 1864 por el célebre profesor Porro; observaremos solo que en sus reproducciones de los modelos Ingleses, Americanos o Alemanes no ofrece ventaja alguna de precios sobre los fabricantes originales.

(6) Una interesante historia de la Jeodesia, bajo este punto de vista es el librito de *Howard Gore*, titulado «Geodesy», perteneciente a los *Heinemann's Scientific Handbooks*, Londres, 1891.

blemente de la de un tal elipsoide, cuando se quieren practicar estudios parciales de la tierra, a grande escala. Para hacerse cargo de ésto, conviene recordar aquí que en Jeodesia se llama *figura de la tierra*, la que tendria un globo cuya superficie fuese la de los mares prolongada idealmente por canales debajo de los continentes; al nivel de este cuerpo ideal que se ha convenido en denominar el JEÓIDE, se refieren todos los elementos de un levantamiento jeodésico, i de aquí el interes práctico que tiene cada país que aspira a una representacion exacta de su suelo, en contribuir a la mejor determinacion de esa figura.

Si se admite que sea conocida la figura del *jeóide* en todos sus detalles, para la representacion de la tierra en conjunto, se le sustituiria un elipsoide de revolucion cuya superficie se confundiera mejor con la del jeóide, considerando todos sus puntos. Pero tratándose de un país dado, se concibe que ese *elipsoide jeneral* no será probablemente el que se confunda mejor con la superficie del jeóide en ese país; de aquí la conveniencia de un *elipsoide especial* para representaciones parciales de gran precision.

Esta distincion envuelve otras mas sutiles todavia. Trazados sobre el elipsoide terrestre jeneral los meridianos i paralelos, cada punto quedará determinado por sus coordenados *jeográficos*; pero si se trazan los meridianos i paralelos en el elipsoide especial a cierta rejion, las coordenadas de los puntos no serán ya rigurosamente los mismos; podrán llamarse *jeodésicas*. Ninguno de estos sistemas de coordenadas coincidirá tampoco con las *observadas* o *astronómicas* que se refieren en cada punto al horizonte material i a la plomada, o sea al plano tanjente i a la normal del jeóide en ese punto.

De aquí proviene que la determinacion astronómica de longitudes, latitudes i azimutes, que a primera vista podria considerarse como una comprobacion de las operaciones propriamente jeodésicas de que luego nos vamos a ocupar, no lo es sinó den-

tro de límites mui superiores al grado de precision con que se practican esos trabajos en la actualidad. Las diverjencias entre los resultados de ambas operaciones sirven por el contrario para el estudio de la figura del jeóide, por medio de las *desviaciones de la vertical*.

Hai mas todavia; no solo no coinciden las coordenadas aparentes con las jeodésicas, sinó que la observacion revela que las de un punto dado *no son constantes*, deduciéndose de allí que el eje de rotacion del planeta no es constantemente el mismo diámetro terrestre.

La amplitud de las desviaciones de la vertical observados hasta hoi, raras veces pasa de 10"; la de las variaciones locales de la latitud, solo es de 0",6. (7)

Independientemente de las medidas directas i de las observaciones astronómicas, se prosiguen actualmente otras que tienen a definir la figura del jeóide, averiguando directamente las distancias a su centro por medio de la accion que la gravedad ejerce sobre un péndulo en movimiento. Segun las observaciones practicadas hasta la fecha, la diferencia entre los largos de dos péndulos que batieran los segundos, uno en el ecuador i otro en la rejion polar, seria de 5 a 5,5 milímetros.

Las variaciones del largo del péndulo que se aprecian hoi

(7) La síntesis anual de los progresos hechos en estos dos estudios han sido encargada por la «Asociacion Jeodésica Internacional» a uno de sus miembros mas eminentes, el profesor Helmert de Berlin.

Un resumen jeneral acerca de las desviaciones de la vertical fué presentado por Helmert a la conferencia de 1887.

Acerca de las variaciones de la latitud o movimiento propio del eje terrestre, a cuyo estudio colaboran los Doctores Th. Albrecht i A. Marcuse, se ha publicado recientemente un resumen por el «Instituto Jeodésico de Prusia» ilustrado por una gráfica de dicho movimiento (*Bewegung des Nordpales der Erdaxe*) desde Junio de 1891 hasta Julio de 1894.

en *micrones* (milésimas de un milímetro), corresponden a las variaciones de la intensidad de la gravedad entre los diversos puntos de observacion, i estas, a su vez corresponden también, dentro de cierta medida, a las del radio terrestre; (8) esta clase de observaciones está pues incorporado al dominio de la Jeodesia.

Recordando lo que hemos dicho acerca del *elipsoide terrestre jeneral* i el *elipsoide especial* a una rejion, se llega a la conclusion de que, *en rigor*, para conocer la superficie de proyeccion mas apropiada al levantamiento del plano de un pais, se necesitaría un estudio prévio de la verdadera figura de esa rejion del jeóide, o sea los elementos de su elipsóide especial. En efecto, por una parte, la resolucion de los triángulos esféricos (o para hablar con mas propiedad, *esferóidicos*) requiere la determinacion del exceso esférico (o esferoidal) correspondiente a cada uno de ellos, el que a su vez depende del radio de curvatura de la esfera osculadora al triángulo, i por consiguiente de los elementos del elipsoide adoptado; se verá mas adelante que esta incertidumbre no existe en la práctica, por mucha que sea la precision exigida. Pero, por otra parte, la determinacion de las coordenadas *jeodésicas* de cada punto, para poderlo situar sobre proyecciones planas referidas a los meridianos i paralelos de un

(8) Para que hubiera verdadera correspondencia entre las variaciones del largo del péndulo que bate los segundos en diversos puntos, con las del radio terrestre en cada uno de ellos, sería necesario que la *figura material* de la tierra fuera realmente la del jeóide (que es su *figura matemática*), i que su densidad fuera uniforme, o por lo ménos variara de la circunferencia al centro segun una lei conocida. No realizándose en rigor ninguna de estas condiciones, resulta que el movimiento teórico del péndulo se halla afectado por las atracciones de las masas de montañas i perturbado por la accion no menos importante de vacíos internos cuya existencia es revelada por estas observaciones. En este terreno se dan, pues la mano la Jeodesia con la Jeolojía, e interesan a ambas ciencias las numerosas observaciones de péndulo (en mas de 500 estaciones) que se practican por recomendacion de la Asociacion Jeodésica Internacional.

elipsoide requiere tambien el conocimiento de los elementos de este último; esta necesidad, aunque mas sensible que la anterior, se satisface jeneralmente adoptando un elipsoide jeneral calculado con datos prexistentes. Los errores provenientes de este modo de proceder son mui pequeños, pues un ángulo de 5 minutos entre la superficie del elipsoide adoptado i la del jeóide viene a traducirse en un error de *un metro* por cada grado jeográfico.

Por estas razones nos contentamos con enunciar estas cuestiones de interés jeneral, que solo afectan aquellos paises cuyos planos requieren un alto grado de precision—del que nos encontraremos distantes por mucho tiempo—i damos a continuacion la comparacion entre los elementos relativos a algunos *elipsoides jenerales* mas empleados en la actualidad:

Autor	Fecha	Largo del cuadrante	Achatamiento
Bessel.....	1841	10 000 856 metros	1:299
Clarke.....	1866	10 001 887 »	1:295
Id. i Faye.....	1880	10 001 869 »	1:293
Helmert.....	1887		1:299
Harkness.....	1891	10 001 816 »	1:300

Las diversas medidas de arcos de meridiano i paralelo, combinadas con las observaciones de péndulo practidas en diversos paises, i sometidos a procedimientos de cálculo que no pueden ser enteramente rigurosos, por la distribucion irregular de las observaciones sobre la superficie terrestre, tienen que traducirse en resultados ligeramente diverjentes.

Así, aun cuando hai al presente unanimidad en reconocer que las *dimensiones* asignadas por Bessel en 1841 son deficientes,

no existe la misma unanimidad respecto al achatamiento o sea a la *forma* del elipsoide, que segun recientes observaciones del péndulo concuerda mejor con la cifra de aquel sabio jeodesta que con las de Clarke (1866 i 1880).

No son de estrañar estas discordancias cuando se toma en cuenta que los arcos de meridiano medidos que entran en los últimos cálculos no suman todavía un cuadrante; siendo de notar ademas que todos los medidos, exceptuando un arco de $4\frac{1}{2}$ grados en el sur de Africa, han sido hechas en el hemisferio boreal.

Sin embargo, no hai que olvidar que estas discordancias, miradas bajo el punto de vista práctico de la *formacion del primer plano topográfico de un pais* no tienen gran importancia. En efecto; el largo medio de un grado de meridiano segun cualquiera de los valores últimamente calculados por Clark, Helmert, Hardness, no discrepan sobre *un grado* de meridiano, en *un metro*, del valor medio 111, 132 metros; puede pues adoptarse ese valor con la seguridad de estar dentro de la aproximacion jeneral de 1/100,000, insensible a cualquier escala topográfica.

Bastan estas consideraciones para demostrar que un pais cualquiera puede, en la actualidad, emprender el levantamiento jeodésico de su territorio, aceptando como superficie de proyeccion la de un *elipsoide terrestre jeneral* calculado sobre las medidas de la tierra hechas en otros paises, sin incurrir en deformaciones sensibles.

Volveremos sobre este asunto, con algunos detalles concretos relativos a Chile, al establecer la base jeodésica en que se han de fundar nuestros levantamientos topográficos.

Medicion de bases

Las bases jeodésicas que sirven para calcular el largo de los lados de una triangulacion, varian en tamaño desde 2 hasta 20

kilómetros, i la distancia entre dos bases consecutivas oscila entre 100 i 500 kilómetros.

El procedimiento empleado hasta ahora para la medida de bases ha consistido en el uso de *varas rígidas*, de madera al principio, de vidrio despues, o de metal, habiéndose ensayado aparatos monometálicos i bimetálicos. El perfeccionamiento de los instrumentos ha sido tal que el grado de precision primitivo de 1:250,000 obtenido por Delambre ha sido sucesivamente rebajado hasta el minimum de 1:5,000,000 (9) ($\frac{1}{2}$ milímetro por kilómetro). Para llegar a este resultado se observa constantemente la temperatura de las reglas durante el curso de las operaciones, i la comparacion de los padrones es el objeto de las mas minuciosas precauciones, habiéndose hecho en varios paises instalaciones especiales con este objeto. (10)

Con el objeto de uniformar los padrones que se usan en los diferentes paises, para la medida de las bases, la Oficina Internacional de Pesos i Medidas (11) ha entregado a diversos Estados metros padrones de platino aleado con iridio; ademas la Asociacion Jeodésica Internacional ha recomendado a los Estados Asociados la comparacion de sus reglas jeodésicas con el padron prototipo internacional depositado en el pabellon de Breteuil (Saint Cloud, cerca de Paris), asiento de la citada oficina.

(9) 9.^a conferencia de la Asociacion Jeod. Int. (1889) Informe del Coronel frances Bassot.

(10) Una de las mas modernas de estas instalaciones viene prolijamente descrita e ilustrada en el folleto que contiene las actas de la Comision Jeodésica Italiana en 1894, bajo el título *Descrizione del nuovo comparatore delle spranghe per la misura delle basi geodetiche*. Firenze, 1894.

(11) Acerca de ésta i otras oficinas i Asociaciones internacionales se consiguan interesantes i poco divulgados detalles en un folleto titulado *Les Bureaux Internationaux et les Unions Universelles* par G. Moynier—Genève, 1892.

Hasta la fecha se han medido unas 150 bases jeodésicas, i han hecho la comparacion (étalonnage) de sus reglas, todos los países de Europa ménos Austria i Rusia,

Los aparatos de *vara ríjida*, usados en el dia son:

Reglas monometálicas, como la del jeneral Ibañez, i del Dr. Gill, reglas bimetálicas de Colby, Brumer, Porro, i el aparato compensado del teniente Schott. (12) El largo de las varas o reglas varia de 3 a 6 metros.

Estos aparatos son mui costosos, i exigen varios dias para la medida de una base de mas de 200 metros, siendo éste el mayor largo que se ha podido medir en un dia. Desde 1878 el profesor E. Jäderinn, de la Escuela politécnica de Stokolmo inició experimentos para la medida de bases jeodésicas por medio de cintas de acero, i mas tarde con alambres metálicos, de 25 a 50 metros de largo, a una tension dada i con correccion por dilatacion debida a variaciones de temperatura. Los primeros experimentos demostraron que se podian fácilmente medir por estos medios 4 kilómetros en un dia, con una precision de $1/200,000$ a $1/1,000,000$. (13)

Posteriormente el aparato de Jäderinn fué usado por el Estado Mayor Ruso para la medida de una base de cerca de 10 kilómetros de largo en Moloskovitzi, (Finlandia); en esta operacion se midieron hasta 6,000 metros en un solo dia, i el error probable del promedio de la doble mensura fué próximamente de $1/500,000$. (14) La principal dificultad experimentada en el uso

(12) Un cuadro jeneral acerca de la medida de bases aparece en el informe citado del coronel Bassot.

(13) «Exposé élémentaire de la nouvelle méthode de M. Edouard Jäderinn pour la mesure des droites géodésiques au moyen de bandes d'acier et de fils métalliques»—Stockholm, 1885.

(14) Esta mensura está publicada con todo detalle en *Fennia*, 7. (Bulletin de la Société de Géographie de Finlande) pp, 1-196, con dos láminas. Helsingfors. 1892.

de estos aparatos fué su comparacion (*etalonnage*), para lo cual no se juzgó suficiente la medida directa por padrones, sino que se acudió a la mensura de una base jeodésica ya conocida, por medio de los alambres.

El espíritu eminentemente práctico norte-americano no podía dejar de progresar en la direccion señalada por el profesor Jäderinn, i practicada casi simultáneamente por la Comision de Ingenieros Militares que levantó el plano del valle del rio Mississipi. En 1886 i 1887 varias bases fueron medidas en la triangulacion secundaria del rio Missouri, con aproximacion media de $1/200,000$, por medio de cintas de acero (*steel tapes*) de 100 metros de largo; la rapidez alcanzaba hasta 3,000 metros *por hora*. (15)

En 1889, al principiar el cuerpo de Ingenieros Militares de E. E. U. U. la triangulacion del «Red River» se diseñaron e hicieron fabricar aparatos mas perfeccionados con los cuales se han medido bases con una discrepancia de $0^m,0007$ sobre cerca de 2,000 metros, no ocupando la operacion de mensura mas de 40 minutos. (16)

Finalmente en 1890 la direccion del «U. S. Coast and Geodetic Survey» ordenó el ensayo oficial del procedimiento que se ha llevado a cabo, con resultados análogos a los anteriores, i llegándose a la conclusion de que aun con variaciones de temperatura comprendidos entre 0° i 30° centígrados, se obtiene una precision de 1 a 2.000,000.

Las ventajas del procedimiento de las cuerdas o cintas metá-

(15) *Missouri River Comission Annual Report*, Washington. 1887. pp. 11-55, contiene una descripcion completa de los aparatos.

(16) «Sobre el uso de las cintas largas de acero para medida de bases»; artículos publicados en *Transactions of the American Society of Civil Engineers* pp. 81-108 i 638-552. vol XXX. 1893.

licas flexibles sobre el de las varas rijidas, pueden pues resumirse así:

Rapidez *decuplicada*; peso i costo de los aparatos considerablemente disminuidos; en cambio la precision reducida a la mitad o tercera parte. De estas ventajas se deriva la de poder aumentar el número i el largo de las bases, simplificando así los cálculos posteriores de compensacion, que implican un retardo considerable en la obtencion de los resultados definitivos de una triangulacion. (17)

Triangulacion de primer orden

La triangulacion primordial cubre a veces un pais con un tejido continuo de triángulos, subdivido en varias *redes* (Reino Unido, Bélgica, Italia, Grecia, etc.,) i otras consiste en un *cá-nevas* compuesto de cadenas de triángulos, las que forman mallas, dejando espacios en blancos mas o ménos grandes (India, Francia, España, etc.) (18)

(17) Acerca de las medidas de bases, como respecto de cada una de las operaciones jeodésicas de importancias se acostumbra ahora publicar monografías, completas i detalladas. Citaremos por vía de ejemplo el folleto titulado *Réseau de triangulation Suisse—La mensuration de bases. Lausanne. 1888.*

Ademas de las obras i artículos de las citas anteriores, acerca del uso de las cuerdas metálicas para la medida de bases, se hallará la teoría i practica de este método en *Theory and practice of Surveying*, por J. B. Johnson, 5.^a i 6.^a ediciones, New York 1889 i 1894.

(18) La disposicion i estension actual de las tres grandes redes trigonométricas del mundo pueden conocerse, consultando los siguientes mapas: 1.^o *Carte trigonométrique indiquant l'avancement des travaux géodésiques en Europe*, anexa al «Rapport sur les triangulations» del general Ferrero, publicado por la Asociacion Jeodésica (Florencia, 1893).

2.^o *Index chart to the great trigonometrical Survey of India*, incluido en «A Memoir on Indian Surveys» por Clements Markham, (Londres, 1878).

3.^o *Map of U. S. showing progress of triangulation, topography and astronomic location*, en «Manual of Topographic methods», (Washington, 1893).

El largo de los lados de los triángulos de primer orden oscila entre 20 i 80 kilómetros; sin embargo este límite suele ser sobrepasado cuando se trata de estender una triangulacion a islas distantes de una costa, o de unir un continente con otro, como sucede entre España i Arjelia, donde el lado «cumbre Mulha-cen-Fihaussen» mide próximamente 270 kilómetros.

La precision de una triangulacion de primer orden depende de dos elementos, la de la *base calculada* (primer lado de la red) i la de los ángulos de cada triángulo.

La primera depende a su vez del grado de precision de la base medida, i de la operacion de paso entre ésta i la calculada. Esta exactitud oscila entre 1 i 2 cienmilésimas del largo de esa base calculada, o primer lado de la triangulacion.

Siendo los triángulos de primer orden, triángulos esféricos. o en rigor *esferóidicos*, parece que la precision del valor atribuido a los ángulos deberá depender, no solo de la exactitud con que se haya hecho la medida directa de ellos, sinó tambien de la correccion de la figura hipotética del elipsóide sobre el cual se considere proyectada la triangulacion, cuyos radios de curvatura sirven para calcular el exceso esférico especial a cada triángulo, i a corregir por consiguiente los ángulos observados en cada estacion para obtener los del triángulo esferoidal correspondiente. Esta causa de error es, sin embargo enteramente teórica; los valores mas diverjentes que pudieran atribuirse al radio de curvatura no alcanzarian a afectar el exceso esférico sinó en milésimos de su valor, el que raras veces pasa de unos pocos segundos. Mayor influencia tienen dos causas de error mas difíciles de eliminar; que son la *refraccion lateral* de las visuales, i la desviacion del plano azimutal aparente de la visual respecto del plano azimutal teórico del elipsoide, desviacion debida a las *deflecciones locales de la vertical*: (19) errores que pue-

(19) Véase la nota 7.

den sumar algunos segundos, i cuya eliminacion rigurosa requiere estudios especiales.

Las operaciones que envuelve la ejecucion de una triangulacion son:

1) eleccion de vértices; 2) ereccion de señales definitivas; 3) observacion de los ángulos; 4) cálculo i compensacion de la red hasta obtener el largo de los lados jeodésicos; 5) cálculo de la posicion jeográfica de cada vértice; 6) publicacion de los datos i resultados.

Eleccion de vértices; esta operacion es facilitada por la consulta de los mapas preexistentes, i en caso que estos sean deficientes se hace necesario practicar reconocimientos trigonométricos, sujetándose a las reglas dictadas al efecto por la oficina o autoridad correspondiente. (20)

Estos reconocimientos comprenden tambien la localizacion de las bases, cuyo largo i distribucion son de tanta importancia para la precision de las triangulaciones; ésta es una de las cuestiones primordiales que deben estudiarse al formular un proyecto de triangulacion. (21)

Ereccion de señales. — Está universalmente reconocida la necesidad i conveniencia de que cada vértice de primer órden quede bien fijado por una construccion permanente que

(20) Obras de consulta:

Reconocimiento para la eleccion de los vértices, en las «Instrucciones» del Inst. Geogr. i Est. de Madrid, pp. 32-36.

Istruzioni sulle ricognizioni trigonometriche, publicados por el «Istituto geografico militare», (Florencia, 1885).

On geodetic reconnaissance, apéndice núm. 10 al «C. & G. Sy. Rep.» para 1885. Washington.

(21) Esta cuestion ha sido tratada a grandes rasgos, pero de un modo majistral por el director de los trabajos jeodésicos de Italia ante la Asociacion Jeodésica en Munich en 1880. (*Note sur la possibilité de calculer a priori le poids et la précision d'une triangulation par la simple connaissance de son canevas*).

puede tener el doble objeto de fijar la posicion material del punto i de servir de señal a la distancia; o simplemente el primero cuando se emplean señales ópticas. (22)

La construccion puede consistir en un andamio de madera, o un monumento sólido de mampostería, i su altura depende de las condiciones del terreno i de la distancia i visibilidad de las estaciones. Estos requisitos son estudiados i determinados de antemano, tomando en cuenta la clase de materiales que se encuentran mas a mano. (23)

Observacion de los ángulos.—Esta operacion se practica con círculos azimutales o teodolitos jeodésicos, cuyo limbo varia en diámetro entre 26 i 45 centímetros, habiéndose empleado antiguamente instrumentos mucho mas grandes con círculos hasta de 90 centímetros. Hoi se consigue igual o mayor precision con el primero de los citados diámetros, merced a la perfeccion de las máquinas de graduar círculos, i al uso de microscopios en vez de nonios. (24)

(22) Estas clases de señales pueden ser diurnas o nocturnas; las primeras llamados *heliotropos* consisten simplemente en un espejo plano para reflejar los rayos solares, las segundas en lámparas i reflectores parabólicos. Los heliotropos de Gauss i Steinheil están descritos en la Jeodesia de Gore, pp. 45-48. Las señales nocturnas están estudiadas especialmente en el opúsculo *Geodetic night signals*. Apéndice núm. 9 al C. & G. S. Rep. para 1880.

(23) *Preparacion de los vértices para las observaciones* en las «Instrucciones» de la nota 20, pp. 37-56.

Istruzioni, etc., de la cita anterior.

On the construction of observing tripods and scaffolds, apéndice núm. 10 del «C. & G. S. Rep.» para 1882.

(24) Los fabricantes de instrumentos jeodésicos son los mismos que hemos citado en la nota (5) de la página 11, a los cuales debemos agregar como una especialidad la casa *Starke i Kammerer* de Viena (Karlsgasse), cuyos instrumentos son usados en Suiza, Italia, Rumania i Grecia.

Para dar una idea del costo de estos instrumentos, estractamos los siguientes de los respectivos catálogos:

El método de observacion primitivo fué el de repetir individualmente cada ángulo un cierto número de veces; hoi se ha reconocido que quedan mejor eliminados los errores de graduacion por el empleo del método llamado «jiros de horizontes» que consiste en referir la lectura de cada direccion a un cierto número de puntos de partida que se distribuyen uniformemente en el horizonte; este número es jeneralmente de 24 para los vértices de primer orden. (25)

Wanschaff (Berlin).

Teodolito, modelo Pistor i Martins, usado en la triangulacion de Prusia, círculo horizontal de 27 cm. lectura con microscopios, apreciacion 1"; círculo vertical con vernier, apreciacion 5".... marcos, 2,900.

Troughton & Simms (Londres).

Teodolito tránsito con microscopios que dan el segundo en ámbos círculos, de 10-12 pulgadas diámetro (25-30 cm.) £ 105-135.

Saegmüller (Washington).

Teodolito jeodésico de 10 pulgadas, con círculo vertical apreciando 20" horizontal con microscopios a 1"..... \$ 850, oro americano.

Modelo especial para triángulos de primer orden con círculo vertical que dé los 10".... \$ 1,000.

Starke & Kammerer (Viena).

Teodolito con círculo horizontal de 26 cm. i vertical de 21 cm., microscopios en que ámbos dan el segundo..... florines 1,200.

Diseños de estos modelos aparecen en los respectivos catálogos, así como en las monografías u obras especiales, entre otros *Methods and processes adopted for production of the Maps of Ordnance Surveys*, Londres 1875.

Primary triangulation of U. S. Lake Survey, Washington, 1880.

La norma para el exámen metódico de los instrumentos jeodésicos se puede estudiar en *An examination of three new 20-inch theodolites*. Apéndice 11 al C. & G. S. Rep. para 1877.

(25) *Observacion de direcciones azimutales* en las «Instrucciones» del I. G. Est. de Madrid pp. 57-68.

Norme pratiche per l'eseguimento delle stazione trigonometriche publicados por el Istituto geogr. militare. Florencia, 1889.

Adaptation of triangulations, etc. Apéndice 20 al C. & G. Survey Rep. para 1876.

Cálculo i compensacion de una red.—Los valores deducidos de la observacion para la medida de los ángulos, no entran en los cálculos de la red, sin sufrir ántes ciertas correcciones, i de consiguiente la precision con que se han medido aquellos no es el único indicio de la de los resultados. La forma i disposicion de los triángulos, el tamaño de sus lados, la cantidad, lonjitud i espaceamiento de las bases entran en juego para establecer una laboriosa *compensacion* de todos los elementos, de manera que no resulte discordancia alguna entre los resultados obtenidos por diferentes medios.

Para darse cuenta cabal de lo que se pretende alcanzar por una tal compensacion, hai que tener presente que en Jeodesia, como en las otras ciencias modernas, la exactitud nunca se pretende absoluta, sinó dentro de ciertos límites que carecterizan el grado de precision: Esto es en realidad lo primero que hai que establecer: *la precision que se ha de exigir en la situacion de los puntos*. Esta precision o tolerancia, avaluada en tanto por ciento del largo medio de los lados, permitirá, basándose en un cánvas provisorio i por medio de un estudio de compensacion preliminar, (26) determinar a su vez el grado de precision que hai que dar a las observaciones, es decir, la clase de instrumentos que debe usarse, i el espaceamiento de las bases, i hasta su ubicacion jeneral mas conveniente.

Allegados los elementos deducidos de las observaciones en conformidad a esa norma, queda que buscar las correcciones que se les debe aplicar para efectuar la compensacion definitiva de la red. Esta consistirá en hacer que los resultados concuerden *dentro de la tolerancia establecida*; para lograr ésto hai que hacer intevenir en el cálculo de las correcciones, todos i cada uno de los elementos que puedan afectar los resultados dentro

(26) Véase la nota 21.

de aquellos límites, lo cual implica la planteacion de un gran número de ecuaciones, llamadas *de condicion*. (27)

Las diferencias entre los resultados de la compensacion i los de las observaciones nos dan a conocer los errores medios i probables de que éstos adolecen. Segun los datos presentados en 1893 a la Asociacion Jeodésica; el error medio de un ángulo en los 6,600 triángulos de la red jeneral Europea era $+1,^{\prime\prime}2$, oscilando entre $1,^{\prime\prime}8$ (triangulaciones antiguas francesa e inglesa) i $0,^{\prime\prime}4$ (triangulacion de Sajonia, 1877). En cuanto a las bases, se considera que su valor es mas riguroso que el de los ángulos i entran en la compensacion como datos invariables. (28)

Los cálculos de compensacion son demasiado laboriosos, i su complicacion aumenta tanto con el número de triángulos que cuando la red es considerable, se hace necesario dividirla en trozos; ésta es la práctica seguida en todos los paises. (29)

Coordenadas jeográficas de los puntos de primer orden.

—Elejido como punto inicial de una red trigonométrica uno

(27) La compensacion de una red jeodésica se basa en la teoría de los *minimos cuadrados* que viene espuesta en las obras modernas de jeodesia, entre otras, ademas de la de *Clarke*, ya citada:

Gore, Elements of Geodesy, New York, 1893.

Jordan, Handbuch der Vermessungskunde, Stuttgart, 1893.

Ferrero, Espozicione del método dei minimi quadrate, Florencia, 1876.

Las reglas para establecer la compensacion de una red se encontrarán en el capítulo *Cálculos definitivos de la red* de las «Instituciones» tantas veces citadas, del Inst. Geogr. i Est. de Madrid, pp. 109-127.

Hai ademas numerosas monografías, entre otras:

Wright, «On the adjustment of observations, New York, 1884.

(28) Acuerdo de la Conferencia Jeodésica en Stuttgart, 1877.

(29) Véase: *Compensacion por trozos, de la Red Jeodésica de primer orden de España*, en el Tomo VII de las «Memorias del Instituto Jeográfico i Estadístico de Madrid».—1880.

Respecto a la union de unas redes con otras, hai que tomar en cuenta las posiciones jeográficas de los puntos de contacto, como se dirá mas adelante.

que se estime libre de deflecciones locales en la direccion de la vertical, se aceptan como coordenadas jeográficas de ese punto i como direccion inicial aquellas deducidas de observaciones astronómicas, i se procede al cálculo de las coordenadas jeográficas de los otros puntos de primer orden; los elementos de ese cálculo son los valores de los ángulos i de los lados de los triángulos, despues de hecha la compensacion de la red, en un todo o por parcialidades, segun su estension.

Las fórmulas que se aplican contienen coeficientes que varian segun la forma i dimensiones asignadas al elipsoide de referencia que se haya adoptado. Para facilitar el cálculo por medio de dichas fórmulas se han reducido a tablas los factores numéricos que entran en ellas. (30)

Como se ha dicho ya, no existe, en jeneral, concordancia perfecta entre las coordenadas jeográficas deducidas del cálculo trigonométrico, i aquellas derivadas de la observacion, Las diverjencias no deben pasar, sin embargo, salvo escepciones, de unidades de segundo; una série de diferencias sistemáticas en un sentido determinado puede servir de indicio para la revision de una base, o de los cálculos de compensacion. Este asunto, por lo demas está intimamente relacionado con el estudio de la figura de la tierra, i forma parte de los temas mas importantes que se tratan anualmente en el seno de la Asociacion Jeodésica Internacional.

(30) Las fórmulas empleadas por los servicios de la Guerra i de la Marina en Francia se hallan en la *Hydrographie* de Germain, pp. 381-390.

Aquellas empleadas en otros paises se han publicado por las oficinas respectivas, i se hallan resumidas en las del «Coast and Geodetic Survey» de EE. U. U. que con sus factores respectivos aparecen en dos folletos titulados: *Formulae and factors for the computation of geodetic latitudes, longitudes and azimuths.*

1) *Based on the Bessel Spheroid* (1875).

2) *Based on the Clarke Spheroid* (1884).

Publicacion de los datos i resultados.—Uno de los requisitos mas indispensables para que los trabajos jeodésicos tengan verdaderamente el alcance de que son susceptibles, para que en cualquier época puedan ser comprobados, verificados i corregidos en vista de mas completas investigaciones acerca de la figura del jeóide, es la publicidad amplia i minuciosa tanto de los datos i observaciones orijinales, así como del resultado de los cálculos. Así lo han comprendido desde hace tiempo los países europeos que nos facilitan ademas de esta manera el camino que debemos seguir. En efecto, no se han limitado esas publicaciones a descarnados cuadros numéricos, sino que se han acompañado siempre con las mas prolijas discusiones acerca de los métodos i procedimientos empleados la descripcion de los instrumentos, i el estudio de sus correcciones i la elaboracion de los resultados. (31)

Triangulaciones secundarias

Los puntos trigonométricos de primer orden se hallan a grandes distancias (jeneralmente mas de 30 o 40 kilómetros) unos de otros; su ubicacion se determina esclusivamente teniendo en vista las mejores condiciones de facilidad i de exactitud en la ejecucion i cálculo del cánvas fundamental.

(31) Mas adelante daremos algunos datos acerca de estas publicaciones; por ahora nos limitaremos a señalar como fuente jeneral de consulta prévia el utilísimo trabajo del profesor norte americano *Howard Gore*, titulado *A Bibliography on Geodesy* publicado por el Coast Survey en 1889, i que contiene los títulos i algunas sumarias indicaciones del contenido de las obras i publicaciones periódicas relativas a esta ciencia i sus aplicaciones.

Ademas, los títulos de las publicaciones que contienen los elementos de las triangulaciones se mencionan en la parte relativa a cada nacion, en el «Rapport sur les Triangulations» del jeneral Ferrero, (Association Géodésique, 1893), i aquellos referentes a la determinacion directa de coordenadas Jeográficas, en el «Rapport sur les Latitudes, Longitudes et Azimuths» (obra citada).

Se hace por ésto indispensable, ántes de acometer la representacion del terreno, fijar las posiciones de un mayor número de puntos, no solo mas próximos unos de otros, sino tambien cuya situacion sea apropiada para que sirvan de puntos de partida a los relevamientos topográficos.

Las redes secundarias son jeneralmente de varios órdenes sucesivos, 2.^o i 3.^o, procurándose que la distancia de los puntos de infimo orden no pase de 5 kilómetros.

Las coordenadas jeográficas de los puntos de segundo orden se calculan tomando como puntos de partida las de 1.^o; las de los de 3.^o, por medio de aquellas i así sucesivamente. (32)

Los ángulos de las redes secundarias son observados por medio de instrumentos jeneralmente de un menor diámetro, i dotados de anteojos ménos poderosos que los que se emplean en la de primer orden; las condiciones de exactitud que se requieren en estas medidas quedan fijadas por instrucciones dictadas al efecto. (33)

(32) Estas operaciones están prolijamente detalladas en el capítulo *Redes de 2.^o i 3.^{er} órdenes* de las «Instrucciones para los Trabajos Geodésicos» del Instituto Jeográfico Español, pp. 383-406.

Como modelo de claridad en la publicacion de los resultados trigonométricos de todos los órdenes (1.^o al 4.^o) pueden citarse la série de folletos que publica el Instituto Jeográfico Militar de Italia, bajo el titulo *Elementi Geodetici dei punti contenuti nei fogli* (aquí el número) *della Carta d'Italia*. Cada uno de esos folletos está acompañado de la minuta gráfica correspondiente i contiene ademas el dibujo de las señales de todos los puntos, que quedan así perfectamente individualizados i pueden ser utilizados como puntos de referencia para cualquier levantamiento particular.

(33) Los teodolitos para triangulaciones secundarias tienen jeneralmente una apreciacion de 5" a 10"

Ademas de los fabricantes que hemos citado anteriormente, hai un mayor número en cuyos talleres se elaboran instrumentos de esta categoría. Mencionamos a continuacion algunos que han merecido aceptacion en grandes trabajos jeodésicos:

§ 2.—OPERACIONES TOPOGRÁFICAS

En las operaciones jeodésicas que se hacen por cuenta de una nacion, no se toman en consideracion los límites políticos o administrativos; mientras tanto los trabajos topográficos que son a veces costeados por los municipios o departamentos se circunscriben jeneralmente dentro de esos límites. Cuando los puntos de la red jeodésica de 3.^{er} orden no están suficientemente próximos para alcanzar al levantamiento de los detalles se hará en ellos una *triangulacion topográfica*, para obtener nuevos puntos mas cercanos, operacion que se puede efectuar simultáneamente con el levantamiento de los detalles o *planimetría*.

Escalas de trabajo.—La primera circunstancia, que imprime, por decirlo así, carácter a los trabajos, es la escala a que se va a operar, o sea aquella a que se dibujan los planos orijinales. Oscila la espresion de dicha escala entre $1/100.000$ i $1/20.000$; los levantamientos a escala superior a $1/20.000$ se denominan *levantamientos de precision*. La eleccion de la escala de trabajo depende de la naturaleza del terreno, i sobre todo del estado de subdivision i poblacion del territorio; algunos paises no han adoptado una escala fija, sino dos o mas segun las exigencias de cada categoría de terreno.

Actualmente los levantamientos topográficos se hacen al 25,000 en Suiza, Italia i España, al 50,000 en las partes mas accidentadas de los mismos paises, al 40,000 en Francia i Ar-

Berthélemy (16, rue Dauphine) Paris.

Breithaupt, Cassel (Alemania).

Kern & C.^a, Aarau (Suiza).

Buff & Berger, Boston (E. E. U. U.)

Young & C.^a, Philadelphia (E. E. U. U.)

jelia, al 50,000 en el Tonkin, al 100,000 en Tunesia, al 45,000 i al 62,500 en Estados Unidos (Geological Survey) (34).

Métodos e instrumentos.—Los métodos topográficos actualmente en práctica son cuatro: 1) el levantamiento por intersecciones, poligonacion o rodeo mediante la cadena o cinta de medir, brújula, pantómetra o teodolito topográfico, 2) por taquimetría, 3) levantamiento gráfico a plancheta; 4) levantamientos fotográficos.

Levantamiento con Goniómetros i medidas directas.—Predominan los métodos por medidas directas allí donde se ejecutan a grande escala; citaremos como primer ejemplo la Inglaterra cuyos planos parroquiales al 2,500° son levantados casi exclusivamente a cadena (35).

En España se emplea la brújula, o la pantómetra combinada con la cinta metálica (36).

Taquimetría.—Este método que consiste en medir las distancias por lecturas de mira, se emplea en ciertos casos en Francia para obtener algunos puntos de referencia entre vértices demasiado lejanos. Desde estos nuevos puntos se puede completar el levantamiento por *radiacion*. A veces se combina la taquimetría con una triangulacion gráfica. (37)

(34) Una prolifja discusion acerca de este punto i otros similares fué suscitada en la *Conferencia topográfica de Washington* en 1892. Las conclusiones: «Rules adopted by the Conference for topographical surveys in typical regions», aconsejan diversas escalas de trabajos variables entre 10,000° i 40,000°, segun el tipo del terreno (U. S. C. & G. S. Rep. for 1891, pp. 633 a 640).

(35) *Account of the methods and processes adopted for the production of the maps of Ordnance Surveys*. pp. 41: 43. i apéndices 6 i 13.

(36) *Instrucciones para los trabajos topográficos* publicado por la Direccion del Instituto geogr. de Madrid, Trabajos de Campo; pp. 6-43.

(37) Topographical conference of Washington, 1892, obra citada, p. 674.—Tambien se hallarán noticias acerca de los taquímetros—planquetas. (*Taquigra-*

Levantamientos a plancheta.—Este es el método mas comunmente empleado, ya sea que las distancias se midan directamente, ya por las lecturas de mira, ya que se determinen todos los puntos por interseccion.

El instrumento que se emplea es de tamaño variable, jeneralmente pequeño; (38) la hoja en blanco que lleva el operador está graduada i contiene colocadas de antemano todos los puntos trigonométricos cuyas coordenados han sido determinadas por operaciones jeodésicas, i aquellos de la triangulacion topográfica cuando se ha hecho ésta con teodolito. El número de puntos trigonométricos por kilómetro cuadrado varia, segun la densidad de las habitaciones i la prolijidad de detalles exijida, desde 2 puntos por cuadrado de un kilómetro hasta un punto por cuadrado de 7 kilómetros de costado (Túnes). El límite de precision no baja de 0.^m 40 para los puntos de primer orden, i hasta 3 m. para los de infimo orden.

Los levantamientos topográficos están perfectamente sistematizados por las respectivas oficinas, algunas de las cuales han publicado instrucciones detalladas. (39)

fómetros) en 716-745. Esos instrumentros no se han usado hasta ahora en topografía jeneral.

(38) Los fabricantes que hacen actualmente los modelos de planchetas usados por los diversos servicios nacionales son:

Brosset frères (rue de Francs Bourgeois) Paris, proveedores del «Service géographique de l'armée».

Kern & Co.—Aarau; del «Bureau Topographique Fédéral» de Suiza.

Ertel de Munich, i *Breithaupt* de Casselt para la Alemania.

Starke i Kammerer de Viena, para Austro-Hungría.

Buff & Berger (de Boston); *Sagmuller* (Washington) proveedores del «Coast Survey».

Gurley & Co. (de Troy, N. Y.) fabricantes de la «Johnson plane table» usado por el «Geological Survey».

(39) Hemos citado ya las *Instrucciones para trabajos topográficos* del Instituto Jeográfico de Madrid, así como las *Reglas adoptadas por la Conferencia Topo-*

Muchas de estas instrucciones, especialmente las de España e Italia, vienen acompañadas de padrones en blanco, modelos de registros, listas i descripciones de los instrumentos, signos convencionales, etc., procurándose así una completa uniformidad en tan vastos trabajos ejecutados por muchos operarios diversos.

Actualmente, el método empleado desde antiguo en Suiza, de ejecutar sobre la plancheta misma el dibujo orijinal de una hoja del plano topográfico, que sirva despues de modelo al grabador, se ha jeneralizado, i ha recibido la consagracion de la práctica. El tamaño de estas hojos es jeneralmente de 35 a 40 cm. por 25 o 30, dentro de márjen.

Para evitar el deterioro del papel pegado en la plancheta, se emplea en su lugar una fuerte cartulina, sobre la cual se dibuja solo la topografía, miéntras la nomenclatura i otras indicaciones se inscriben en calcos auxiliares.

Los planos topográficos a la escala de 1 a 25,000 o 1 a 50,000 comprenden todas las indicaciones relativas a la topografía, relieve, estado i cultivo del terreno; a la viabilidad, orografía e hidrografía; a las poblaciones, límites administrativos i a veces deslindes particulares.

El dibujo del relieve se hace por diversos medios, segun se indicará al tratar de la cartografía.

gráfica de Washington, el manual de *Topographic Methods* del Geological Survey.

Mencionaremos ademas:

Instructions pour l'exécution des travaux topographiques en Algérie publicados por el «Etat major de l'armée», Paris, 1892.

Istruzioni e norme pratiche per le levate por el Istituto Geogr. de Florencia en 1887.

Instructions pour les triangulations du 4.º ordre; pour les levés topographiques au 25,000º; pour les levés au 50,000º, por el «Bureau topographique fédéral» de Berna, (Lausanne, 1891).

Levantamientos fotográficos.—Este procedimiento consiste en hacer estaciones con una cámara fotográfica susceptible de ser perfectamente nivelada i orientada, en los puntos trigonométricos secundarios. Las perspectivas fotográficas obtenidas en diversas estaciones deben contener puntos comunes de dos en dos, que puedan ser fácilmente reconocidos; la planimetría se obtiene entónces por intersecciones; el método ofrece facilidades escepcionales en rejiones montañosas, para el levantamiento de líneas de costa, i reproduccion fiel de la orografía. (40)

(40) Siendo este un procedimiento poco divulgado aun, estimamos oportuno dar indicaciones bibliográficas mas completas acerca de él.

La aplicacion de las perspectivas matemáticas al levantamiento de planos fué espuesta por primera vez por el coronel frances *Laussedat*, quien publicó en el tomo 16 del «*Mémorial de l'Officier du Génie*» (1854), un artículo titulado *Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques* (pp. 206-247), en el cual esplaya por completo la teoría del procedimiento i su aplicacion mediante el empleo de un prisma de Wollaston.

Diez años mas tarde, en 1864, M. *Laussedat* publicó en el mismo «*Memorial*» un segundo artículo mas estenso que contiene la sustitucion de la cámara fotográfica, a la de Wollaston, en vista de los progresos del nuevo arte.

A pesar de los ensayos coronados de éxito del oficial frances (dados a conocer recientemente en una conferencia de M. *Laussedat*, en el Conservatorio de Artes i Oficios de Paris, de que es actualmente Director), el procedimiento no se jeneralizó en Francia, i solo en 1878, se comenzaron nuevos ensayos en los Alpes de Italia, por el Instituto Jeográfico Militar de Florencia. El ingeniero Pío Paganini encargado de esos estudios los ha llevado adelante con entusiasmo, i ha publicado algunos de sus resultados en un folleto titulado *La fototopografia en Italia* en 1889; tambien se espone allí la teoría del método, i se describen los instrumentos usados en Italia para su aplicacion.

Pero el primer levantamiento fotográfico en grande escala, emprendido sistemáticamente es el de la colonia inglesa del Canadá, comenzado en 1887, i del cual se han publicado ya muchas hojas. La eficiencia i rapidez de este método han quedado con esta prueba perfectamente demostradas, especialmente en terreno accidentado.

La base teórica del procedimiento fotográfico (*Fotogrametría*, *Fototopografia*, etc.) no es sinó una aplicacion de la jeometría descriptiva a la perspectiva

lineal, i su práctica envuelve, por una parte, un estudio especial de las reglas de perspectiva, i por otra cierto conocimiento de la química i óptica fotográficas. El conjunto de ambas cosas ha sido espuesto con notable claridad i método por M. E. Deville, Topógrafo en Jefe del Canadá, en una obra titulada *Photographic Surveying*, litografiada a pocos ejemplares en el «Survey office» de Ottawa (1889), para el uso de los ingenieros del ramo. Llama la atencion la sencillez del aparato fotográfico empleado por M. Deville, que se reduce a una cámara rígida del tamaño 12 x 17 centímetros, la que se arma sobre el mismo trípode del teodolito usado para la triangulacion topográfica, operacion que se practica simultáneamente con el levantamiento de detalle. La caja viene provista de niveles, i las placas salen con ciertas marcas que permiten trazar líneas de orientacion i nivel.

En el mas moderno de los levantamientos topográficos nacionales, el del reino de Grecia cuya triangulacion se inició en 1889, por parte del personal del «Instituto Jeográfico Militar de Viena» bajo las órdenes del teniente coronel Hartl, se ha resuelto emplear el procedimiento fotográfico, para el figurado del terreno. En la primera entrega de los informes anuales acerca de este levantamiento (*Die Landesvermessung in Griechenland*, Viena, 1891), dice el nombrado jefe que se usará la «Fotogrametría» en «terrenos sin bosque, de formas accidentadas» i agrega que este método, segun puede afirmarlo por esperiencia propia da resultados sorprendentemente buenos, con un minimum de trabajo en el terreno».

Hemos dicho ya que el instrumento fotográfico usado en el Canadá es una simple cámara rectangular i los ángulos de referencia se miden con un teodolito que se monta sobre el mismo trípode. En Italia i Grecia, los trabajos de fotogrametría se han llevado a cabo por medio de instrumentos combinados, (*foteoteodolitos*) cuya primera idea pertenece al coronel Laussedat; descripciones de estos aparatos se encuentran en los mencionados folletos de los ingenieros Paganini (*La Fototopografia in Italia*), Hartl (*Die Landesvermessung in Griechenland, zweiter Bericht*, 1892).

El modelo frances de Laussedat es fabricado actualmente por la conocida casa de *Ducretet & Lejeune* (75, rue Claude Bernard, Paris) i su precio varía segun el tamaño, de 800 a 1,000 francos (catálogo de 1893).

Los modelos italianos, mucho mas complicados, contruidos sobre diseños del ingeniero Paganini por la *Officina Galileo* (Barriere delle Cure, Florencia), tendrían de costo hasta 6,000 francos.

El tipo adoptado por el «Instituto Jeográfico» de Viena para los levantamientos en Grecia es de la casa *Starke & Kammerer*; su precio es 900 florines. Esta

§ 3.—CATASTRO

Hemos dicho ya que el catastro moderno no tiene simplemente por objeto medir la cabida de cada propiedad para aplicar la tasa del impuesto sobre bienes raíces (41); tiene además otro objeto que requiere una precisión mucho mayor, i comporta el *alinderamiento material* de la propiedad particular: constituye un *registro gráfico legal* de todos los bienes raíces; el *plano*

misma casa fabrica también otros tipos, entre ellos uno más sencillo, cuyo precio es solo de 500 florines, cuya prolija descripción, ilustrada ha sido publicada en «*Zeitschrift des Oesterreichen Ingenieur und Architekten-Verein*», 1894, número 5.

Un fabricante de Viena *R. Lechner* (31, Graben), ha emprendido también la manufactura de aparatos fotogramétricos, de los cuales describe cuatro tipos, cuyos precios varían de 200 a 400 florines en «*Lechner's Mittheilungen*» de Marzo 12, 1892.

A las obras i publicaciones que hemos citado agregaremos las siguientes, de más fácil adquisición i algunas de las cuales pueden ser especialmente útiles a los exploradores o turistas que deseen utilizar los panoramas sacados con una cámara común, para la elaboración de planos:

1) En frances:

Dr. Gustave Le Bon «*Les levés photographiques et la photographie en voyage*»,—2 vol. in 8.º pequeño; Gauthier-Villars, Paris, 1889.

Cl. A. Laussedat.—3 artículos en los «*Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*» (tomos 2 i 3, 2.º serie), id. id.

Id. id.—«*L'iconométrie et la métrophotographie*» conférence du 28 février 1892, (id. id.) Un folleto de 48 páginas.

2) En ingles:

H. Reed «*Photography applied to Surveying*»; John Wiley & Sons, New York, 1890.

J. A. Flemer «*Photogrammetry*» artículo de revista, en el C. & G. S. Rep. 1891

3) En aleman:

V. Pollak «*Die photographischen Terrain-aufnahme*».—Viena, 1891.

(41) La reforma catastral es uno de los más recientes progresos administrativos; está implantado en pocas naciones, i como sucede generalmente, aquellas

catastral de cada propiedad depositado en la oficina del conservador de *bienes-raices* tiene *valor jurídico*, (42) quedando así eliminados para siempre los innumerables litijios fundados en la deficiencia, indecision, antigüedad o incorreccion de los términos usados en los títulos de propiedad.

La buena ejecucion del catastro tiene pues una gran importancia, no solo para la Administracion Jeneral, sino para la Comunal i de Justicia. Siendo sin embargo, su principal objeto suministrar una base correcta para la recoleccion del impuesto sobre bienes-raices (*impôt foncier*), su ejecucion deberia ser costeada por la Comuna o por la Nacion, segun sea aquel impuesto comunal o nacional; como en el primer caso seria imposible obtener resultados uniformes i de utilidad jeneral si cada comuna efectuara independientemente su catastro, es hoy práctica jeneral que, cualquiera que sea la administracion que percibe el impuesto, los levantamientos catastrales sean efectuados bajo la direccion de una oficina pública, dependiente por lo jeneral del Ministerio

donde el catastro es mas antiguo, como la Francia, es donde la reforma encuentra mas obstáculos i dificultades.

Para seguir la historia del desenvolvimiento del *catastro* en Francia, puede consultarse con fruto un folleto oficial titulado «*Recueil de documents, etc. concernant le Cadastre depuis 1807*» Paris 1891.

(42) «Los límites de propiedades no cuestionados que figuran en los planos « catastrales tienen en cuanto a la posesion o propiedad, el mismo valor que si « hubieren sido fijados por acuerdo de los propietarios».

«Las invasiones fuera de estos límites no podrán servir de base a la *prescription*».

«Los deslindes en litijio serán fijados como provisorios i tendrán valor legal, « si no hai reclamo dentro de dos años».

(Lei de 31 de Marzo de 1884 que ordena la renovacion del Catastro en Alsacia—Lorena).

de Hacienda, (43) o en algunos países se ejecuta directamente por las brigadas topográficas. (44)

Siendo indiferente para los propósitos del catastro la orografía del terreno, no se toma jeneralmente en cuenta en el levantamiento. La base de subdivision sobre la cual se establecen los planos es la *parcela*, cuya definicion legal es: «una porcion de terreno mas o ménos estensa, situada en la misma comuna, distrito o lugar, que presente una sola clase de cultivo, i pertenezca a un solo dueño». Mediante esta subdivision los planos *parcelarios* se prestan a señalar en ellos cualquiera alteración de deslinde entre comunas o propietarios, siempre que estas alteraciones comprendan parcelas enteras, como será el caso jeneral; analizando la definicion que hemos dado, se vé que prevé todos los casos en que una propiedad se estienda a ambos lados de un deslinde comunal o natural, o que tenga terrenos de distinto valor, etc.

Respecto a la ejecucion misma de los trabajos de levantamiento, que ántes se ejecutaron independientemente, hoy se apoyan en las grandes triangulaciones nacionales, cuyas señales trigonométricas se usan como puntos de partida. (45)

(43) En Francia todo el servicio del Catastro se hace por la «Administration des contributions directes».

En Italia se ha creado para la ejecucion de la lei de 1.º de Marzo de 1886 i por Reglamento de 2 de Agosto de 1887, una «Giunta Superiore del Catasto» encargada de la direccion de los trabajos de levantamiento, demarcacion i tasacion de las propiedades. Siendo esta organizacion una de las mas nuevas, señalamos aquí como interesante publicacion de consulta la «Raccolta delle disposizioni di massima relative al riordinamento dell'Imposta fondiaria».—3 vol. 1887-92.

(44) En Inglaterra i la India, por el «Ordnance Survey»; en Austro-Hungría i en Grecia por el «Instituto Jeográfico Militar de Viena».

(45) Véanse:—«Instructions pour l'exécution du Cadastre dans le Département de la Haute Savoie», 1881. Art. 21.

Cuando sea necesario, se subdivide la triangulación jeodésica o topográfica de ínfimo orden, hasta obtener el número de puntos suficiente para el buen relevamiento de las parcelas. (46)

La escala de los planos catastrales es muy variable, como que depende necesariamente de la extensión media de las propiedades y del valor del terreno. Así, en Rusia se han hecho levantamientos al 8,400°, en la India al 15,840°, al 7,920° y al 3,960°, en Dinamarca al 4,000°, en Austro Hungría al 2,880°, en Francia, Inglaterra, Bélgica, al 2,500°, en Italia al 2,000°, y en Suiza, al 4,000°, 2,000°, 1,000°, 500° y hasta 200° para el catastro urbano.

Puede decirse que para el catastro rural la escala en Europa varía de 1/2,000 a 1/4,000. Para formarse idea de la extensión de un trabajo de esta clase, baste decir que el mapa catastral del Reino Unido (*Parish maps*, planos parroquiales) a la escala de 1/2,500 no consta de menos de 64,450 hojas separadas.

En Italia, la escala general es de 1/2,000 pero se aumenta a 1/1,000 cuando el área media de las parcelas no alcanza a 2,000^{m²} y a 1/500 cuando baja de 300^{m²} (sitios urbanos) y en cambio puede bajarse a 1/4,000 en terreno montuoso y poco subdividido. (47)

«Mémoire sur l'exécution des travaux du Cadastre en Alsace-Lorraine» traducido del alemán, 1892. *Cap. IV. Exécution des levés cadastraux.*

«Istruzioni per i lavori trigonometrici catastali» dictados en 15 de Abril, 1889. («Raccolta, etc»). Vol. II. p. 41).

«Normen für die Catastral Vermessung (Landesvermessung in Griechenland, 1891. p. 24).

(46) En Italia, por ejemplo, se exige que los lados trigonométricos no pasen de 2 kilómetros, que no haya menos de un vértice por cada 3 kilómetros cuadrados; para las poligonaciones, lados de 350 metros y 200^m si medidos por estadia, y 12 puntos por kilómetro cuadrado. (Obra citada; Vol. II, pp. 41 y 211).

(47) «Raccolta, etc». Vol. II p. 321.

§ 4.—NIVELACIONES

En su acepcion mas jeneral, se denomina *nivelacion* toda operacion encaminada a definir el relieve de una línea o superficie; comprendiendo así trabajos de bien diversa índole, tanto por lo que hace a la clase de instrumentos empleados, a las teorías en que descansa su uso i en cuanto a la precision de los resultados obtenidos. Actualmente pueden clasificarse en cuatro categorías dichas operaciones:

1.^a Determinacion del *nivel medio* del mar, como plano de referencia.

2.^a *Altimetría* jeodésica, que da las alturas de los vértices trigonométricos.

3.^a Nivelaciones de *precision* para suministrar puntos de nivel exactos a lo largo de las vías de comunicacion.

4.^a *Nivelacion topográfica*.

5.^a *Hipsometría* que nos suministra niveles aproximados en las rejiones montañosas.

Nivel medio del mar

Para que la nivelacion jeneral de un pais revista el carácter de un trabajo de conjunto que permita trazar perfiles de cualquier estension i en cualquier sentido, es indispensable que todos los niveles estén referidos a una superficie de comparacion fija e inmutable. Es convenio universal elejir con tal objeto la superficie misma sobre la cual se imaginan proyectados los puntos del levantamiento jeodésico, a cuya forma ideal se designa bajo el nombre de *jeóide*: esta es el *nivel medio del mar*.

Aunque puede parecer a primera vista indiferente que se adopten uno o varios niveles de referencia, i cuáles sean éstos, puesto que en la práctica los datos que se emplean son siempre *diferencias de nivel*, la esperiencia ha venido a demostrar que

el único modo de evitar confusiones i de procurar una fácil connexion i comprobacion entre trabajos diferentes es hacerles reposar todos sobre la misma base.

Dedúcese de allí que la determinacion material del nivel medio del mar es una operacion prévia, i que conviene iniciar con bastante anticipacion a las nivelaciones propiamente dichas; tanto mas, cuánto que aquel nivel no se obtiene sinó con séries de observaciones que es necesario prolongar durante varios años.

Ademas, cuando la costa de un país es estensa, ese nivel medio tiene que determinarse en varios puertos, tanto para servir de primera comprobacion, cuanto para contribuir al estudio de los solevantamientos del terreno.

Como es sabido el nivel de las aguas del mar en un punto oscila constantemente, debido a causas meteorolójjicas como los vientos i variaciones en la presion atmosférica; a causas astronómicas como las mareas, i a causas séismicas como los terremotos i erupciones. Lo que se denomina *nivel del mar* en un puerto, no puede ser pues otra cosa, que el promedio de todas las oscilaciones, cualesquiera que sean sus causas; este nivel observado durante varios años sucesivos no será absolutamente constante, pero sus variaciones son pequeñas, no pasando de unidades de centímetros.

Los medios de observacion de que se dispone en el día para la investigacion del nivel medio del mar, son dos: el primero i mas riguroso es por medio de un aparato inscriptor que registra constantemente las indicaciones del nivel del mar en un pozo comunicado con éste. Este aparato que se denomina *mareógrafo* i cuya instalacion es bastante costosa (48) requiere una constan-

(48) Consúltese «Les progrès réalisés en France dans la mesure des altitudes et la détermination du niveau des mers» par *M. Ch. Lallemand*, 1893, p. 17.

Véase tambien:—Determinacion del nivel medio de los mares» en los «Elementos de Jeodesia» del capitan *Ortega i Delgado*, Segovia, 1891.

te vijilancia i conservacion para el buen funcionamiento del mecanismo registrador; el segundo aparato, de reciente uso, es mucho mas sencillo, i suministra sin intervencion de mecanismo alguno, con una sola observacion al dia, el nivel medio del mar con la misma precision que el mareógrafo. Este aparato llamado *medimareómetro* por su inventor M. Ch. Lallemand, consta de un tubo cuya comunicacion con el mar está interrumpida por un diafragma poroso que atenúa la trasmision de sus oscilaciones sin alterar su promedio. El costo de instalacion i observacion de estos aparatos es insignificante. (49)

Altimetría Jeodésica

La diferencia de nivel entre dos puntos trigonométricos se deduce del valor de ángulos verticales, (de altura o distancias cenitales) que se observan al mismo tiempo que los ángulos azimutales, haciendo las lecturas en los círculos o lectores verticales de los instrumentos por medio de verniers o microscopios. Esta operacion se llama tambien nivelacion trigonométrica, i se practica simultáneamente con la medida de ángulos del cánevas jeodésico. Para obtener los resultados, se toma en cuenta en el

(39) Puede verse la descripcion ilustrada del *medimareómetro* en el Anuario Hidrográfico de Chile, Tomo XV, 1890.

En cuánto a la exactitud de estos aparatos, basta señalar que el que ha instalado el inventor en Marsella en 1885, i cuyas indicaciones se comparan constantemente con las del mareógrafo allí instalado, no han dejado de concordar, siendo de notar que los diafragmas no se han obstruido en tan largo tiempo. La Oficina Hidrográfica de Jénova ha instalado dos medimareómetros del modelo Lallemand en ese puerto, al lado de su mareógrafo, (en condiciones calificadas de *no satisfactorias*) i en los 30 meses trascurridos desde Setiembre de 1891 hasta Abril de 1894 la diferencia entre los niveles medios determinados por ámbos medimareómetros fué 0.^m002 i entre el promedio de éstas i el mareógrafo 0.^m014.

(*Processo verbale delle Sedute della Commissione Geodetica Italiana*), 1894.

cálculo los valores de ángulos verticales observados en todas las estaciones (distancias cenitales recíprocas).

Además de los errores de observacion, cuya eliminacion no se obtiene con la misma facilidad i precision que para los ángulos azimutales, intervienen aquí errores relativamente considerables causados por nuestro imperfecto conocimiento de la refraccion atmosférica i su variabilidad.

El error probable de nivel sobre un lado jeodésico de 40 kilómetros puede oscilar por esta causa entre 1 i 2 decímetros. (50)

Nivelacion de precision

La nivelacion trigonométrica solo suministra las acotaciones de un número restrinjido de puntos como son los vértices trigonométricos. Cuando se aspira a tener una representacion algo exacta i detallada del relieve, es indispensable establecer un gran número de buenos puntos de referencia (*repères, benchmarks*) directamente referidos al nivel del mar. Tal es el objeto de las *nivelaciones de precision* emprendidas actualmente por todas las naciones europeas i los EE. UU.

Estas nivelaciones se efectúan por medio de niveles de burbuja (*niveau a bulle*) (*spirit levelling*) basado sobre el mismo principio que los usados en las nivelaciones comunes, pero de una construccion mas cuidada (52); los métodos de observar, de

(50) *Jeodesia* de Clarke; Edicion española, nota de la página 422.

Las reglas de observacion de distancias cenitales, i el cálculo de las alturas están detalladas en las «Instrucciones» del Instituto Jeográfico de Madrid.

(51) Los modelos de niveles de precision usados en 22 naciones europeas se acompañan al informe «Bericht über die Präcision-Nivellements in Europa» publicado en los últimos anuarios (1894) de la Asociación Jeodésica i del Instituto Jeográfico de Viena.

eliminar los errores de refraccion, etc., han sido estudiados con el mayor cuidado. (52)

Segun los mejores trabajos modernos una nivelacion de precision debe basarse sobre una red de polígonos fundamentales de 100 a 500 kilómetros de contorno, i que se estienda en cuánto sea posible, a lo largo de las vías férreas. Estos polígonos deben de ser cerrados, i compensados para eliminar el *error de clausura*; el límite de tolerancia prescrito por la Asociacion Jeodésica es de 1^{mm}. por kilómetro, pero los errores han sido encerrados entre límites mas estrechos; por ejemplo entre los 15 polígonos de la nivelacion Suiza, el mayor de 553 kilómetros de desarrollo presenta una incertidumbre de 100 milímetros, i el polígono de contorno jeneral de 1,200 kilómetros, solo presenta 150 milímetros de diverjencia, sea un poco mas de un décimo de milímetro por kilómetro.

La tolerancia aceptada en Italia es 5^{mm}. $\sqrt{K}$, siendo K el desarrollo del polígono en kilómetros. (53)

En ciertos i determinados puntos de los polígonos de nivelacion se establecen puntos fijos, sea en las construcciones, sea en el terreno, provistos de una placa metálica que llave una inscripcion en la cual se indica la acotacion exacta en milímetros,

(52) Recomendamos especialmente las «Instructions pratiques pour les opérations sur le terrain» impartidas en 1889 por el Comité du Nivellement général de la France.

El nivel usado en Francia, modelo perfeccionado, tomando en cuenta las ideas de ópticos i niveladores notables, es fabricado esclusivamente por *Berthélemy* de Paris; se emplea ademas ahora en las nivelaciones de precision de Bélgica e Italia.

Los otros modelos mas usados actualmente son los de *Starke* (Viena), *Breithaupt* (Cassel) i *Kern* (Aarau, Suiza).

(53) Livellazione geometrica di precisione, p. III.

de la marca o referencia, o sea la altitud sobre el nivel medio del mar elejido como oríjen. (54)

Nivelacion topográfica

En las rejiones medianamente accidentadas, se determina el nivel de un gran número de puntos por los procedimientos ordinarios de la topografía, es decir, el nivel comun, el nivel de pendientes i los procedimientos taquimétricos. Sirven de puntos de partida las acotaciones inscritas en los puntos fijos de referencia; cuando hai interes en que las indicaciones sean mui exactas, se hacen nivelaciones secundarias entre dos puntos fijos, i se compensa el error de clausura en cada línea secundaria. (55)

Hipsometria

Aunque el significado de esta voz es mui jeneral, (56) le damos aquí el de medicion de alturas aisladas o directas. La topografía dispone de tres medios para averiguar la altitud de los puntos aislados de difícil acceso, en rejiones mui montañosas: el *barómetro de mercurio*; el *aneroides* i el *termo-barómetro* (al que se aplica comunmente el término jeneral de *hipsómetro*, i que los ingleses denominan con mas propiedad *boiling-point apparatus*).

Estas tres clases de instrumentos, como se sabe, indican solo el *peso de la atmósfera* en el lugar de observacion; la consiguiente determinacion de la altitud de éste descansa en la existencia de ciertas relaciones (por desgracia afectadas por muchas causas de error e irregularidad), entre la presion i la altura.

(54) La forma i detalles de colocacion de estas señales, se pueden ver en el informe citado «Bericht über Präcision-Nivellements etc.»

(55) «Instrucciones para los trabajos topográficos» del Instituto Jeográfico de Madrid, pp. 53-68.

«Manual of Topographic Methods» pp. 84-85.

(56) *upsos*, altura; *metron*, medir.

El *barómetro de mercurio*, siendo una verdadera balanza, permite, si es bien construido, obtener por lo ménos, un valor exacto de la presión atmosférica, i eliminar todo error de observacion. En cambio tiene el gravísimo inconveniente de la dificultad e incomodidad del transporte. (57)

El *barómetro aneróide* es respecto del mercurio lo que un dinamómetro es respecto de una balanza de platillos; su peso i volúmen son mui reducidos; pero su mecanismo delicado lo hace adolecer de errores de observacion tales que pueden considerarse inútiles para un trabajo de conjunto i solo se pueden usar en conexion con el barómetro de mercurio, o el hipsómetro. (58)

(57) Bajo el punto de vista del transporte pueden clasificarse los barómetros de mercurio en *Fortin*, cuya cubeta hai que trasportar llena de mercurio; *Fuess* cuya cubeta se vacía para trasportarlo; «Gay Lussac» o mas bien *Bunten* de sifon, embudo i llave. El último tipo que es el mas cómodo para el transporte fué fabricado con gran perfeccion por Pistor i Martins de Berlín para el Observatorio de Santiago.

(58) Los barómetros aneroides son hoi día un artículo comercial manufacturado por innumerables fabricantes. El tipo comun, originado por el óptico *Naudet* de Paris es el mas usado. El modelo mas nuevo de *Goldschmidt*, de Zurich, es fabricado esclusivamente en esta ciudad. Puede verse la descripción de este último en el tomo VII del *Anuario Hidrográfico* pp. 379.

El hipsómetro mas conocido es el de *Regnault*, cuyo tipo es adoptado por los fabricantes de toda nacionalidad.

Damos a continuación algunos precios de los fabricantes mas acreditados:

Casella (147, Holborn, Londres).

Barómetro Fortin de montaña.....	£	8	10	sh
Id. Gay Lussac.....	»	6	6	»
Hipsómetro con tubo telescópico.....	»	4	15	»
Barómetros aneroides desde £ 2 a.....	»	5	00	»

Ducretet (45, rue Claude Bernard, Paris).

Barómetro Fortin, con trípode.....	fr.	140
Id. Gay Lussac.....	»	130

El *termo-barómetro* o hipsómetro de ebullicion, tiene por órgano esencial un termómetro mui sensible que sirve para medir la temperatura de ebullicion del agua pura. El aparato es manual i su manejo no es complicado, pero su observacion no merece la misma confianza que la del barómetro de mercurio. Puede llevarse i emplearse en sustitucion, si éste se llega a inutilizar. (59)

El valor de las observaciones barométricas depende tanto o mas como de la bondad del instrumento empleado, de las condiciones i número de las observaciones. Tomando en cuenta que las oscilaciones barométricas pasan con frecuencia de 10 milímetros de mercurio en 24 horas, lo que equivale a un desplazamiento en altitud de 100 a 200 metros, segun la altitud absoluta, se comprende que una indicacion barométrica aislada

Hipsómetro Regnault.....	»	40
Barómetros aneroides.....	60 a	» 125
<i>Société Genevoise d'Instruments de Physique,</i>		
Barómetro Fortin, con trípode de madera formando es-		
tuche.....	»	190
Hipsómetro Regnault.....	»	70
<i>Bohne</i> (90 Prinzenstrasse, Berlin) exclusivamente barómetros aneroides de		
48, 67 i 130 milímetros diámetro, de 50 a 140 marcos.		
<i>Fuess</i> (7 i 8, Dünther Strasse, <i>Steglitz</i>).		

Barómetro Fortin, de cubeta variable..... marcos 220

(59) Una monografía recomendable es el «Manual teórico-práctico para el uso del barómetro de mercurio, del metálico i del hipsómetro», por el ingeniero *A. Salmoiraghi* (de Milan) traducido e impreso en *Bogotá*, 1892.

Datos prácticos acerca de las observaciones, su reduccion i resultados se hallarán en:

«Barometric hypsometry, etc.,» apéndice 10 al Anuario del U. S. C. & G. S. para 1891, i así como en:

«Barometric hypsometry» del tomo II, de los levantamientos jeográficos al Oeste del 100° meridiano en EE. UU., páj. 497 i siguientes.

puede conducir a valores mui falsos. Para obtener resultados algo aproximados es necesario practicar observaciones durante algunos dias, i cuando esto no es posible, hacerlo en conexion con otro punto conocido cercano, cuyas condiciones meteorológicas en el momento de la observacion se conozcan.

Salvo los casos en que se puedan practicar largas séries de observaciones, como en estaciones meteorológicas, no puede esperarse una aproximacion que baje de 10 a 20 metros.

§ 5.—CARTOGRAFÍA

Comprendiendo bajo este título todo lo que se refiere a la forma bajo la cual se entregan al público los mapas oficiales, estudiaremos sucesivamente:

- 1) Clasificacion de los mapas.
- 2) Escalas adoptadas.
- 3) Métodos de proyeccion.
- 4) Subdivision en hojas.
- 5) Dibujo: representacion del relieve, signos convencionales i colorido.
- 6) Modos de reproduccion i publicacion.

Clasificacion de los mapas

Los planos levantados por órden de los principales Gobiernos civilizados van siempre comprendidos dentro de una de estas tres grandes categorías (60).

A.—Topográficos

B.—Hidrográficos

C.—Catastrales

(60) *Report upon the Congress of Venice*, p. 76.

A.—Pertenecen a la primera categoría, todos aquellos mapas cuyo levantamiento descansa sobre una triangulación jeodésica i determinaciones astronómicas, i en los cuales se indican los accidentes *esteriores* del suelo, naturales o artificiales, segun el propósito especial que se tenga en vista; tales son:

a.—Los planos topográficos jenerales propiamente dichos que contienen las indicaciones verdaderamente topográficas o superficiales, i a veces (Italia) la subdivision en propiedades rurales. Estos planos constan de un gran número de hojas.

Jeneralmente se publican tambien una o dos reducciones sucesivas del mapa detallado con las mismas indicaciones, pero con ménos detalles, en un menor número de hojas.

b.—Planos estratéjicos, en los cuales se da especial importancia a las vías de comunicacion, facilidad de acceso a los terrenos, conformacion de los valles, pasos de montañas, etc.

La confeccion de esta clase de mapas es la que ha dado oríjen, casi podria decirse, a los grandes levantamientos topográficos. (61) Recientemente se le ha dado cabida en esta clase de trabajos, en gran proporcion, a las causas jeológicas de las formas del terreno, (62)

c.—Planos orográficos, corográficos o hipsométricos, que señalan el relieve del terreno, aplicándose especialmente los dos primeros nombres cuando el relieve se indica de un modo artístico i segun la apreciacion del dibujante, por hachuras o sombreados, i el de *hipsométricos* cuando por curvas de nivel continuas, como en la hermosa carta de la Nivelacion Jeneral de la Francia.

(61) *Congress of Venice Rep.* pp. 74, 84.

(62) *Esquisses orographiques des Systèmes-frontières de la France*—Paris 1876.

El objeto de los mapas *orográficos* (como son casi todas las cartas jeográficas) es meramente ilustrativo,

Los mapas *hypsométricos*, como son los mapas topográficos modernos, tienen por objeto el estudio de anteproyectos de caminos, ferrocarriles, canales, etc.

d.—Planos de hidrografía terrestre, en los cuales se indica detalladamente las fuentes i curso de los rios, figura de los lagos, bañados o pantanos, la estension i límites de sus hoyas hidrográficas, etc.

Su objeto es el estudio higrométrico, hidrosκόpico e hidro-lójico de las rejiones, estudio de represas, de provision de agua a la ciudades, etc.

Los planos topográficos jenerales o los meramente orográficos, pueden servir, como hemos dicho, de marco para señalar en ellos ciertas indicaciones propias de un objeto especial. Así se forma:

e.—Planos de viabilidad, en los que aparecen las rutas, caminos, sendas, ferrovias, tranvías a vapor, eléctricos, canales de navegacion, etc.

f.—Los planos postales, donde figuran las rutas postales con indicaciones de la frecuencia del servicio, las líneas telegráficas i telefónicas.

g.—Los planos estadísticos, complemento obligado, i actualmente la parte mas importante de toda obra estadística, donde sobre la base de la exacta topografía de un pais, se marcan con tintas convencionales los grados de desarrollo o las densidades de la materia que forma el tema de estudio de que se trata.

Puede decirse con propiedad, que por medio de mapas comparativos de esta especie se ha creado una *estadística de cuatro*

dimensiones, cuyas representaciones gráficas dan a conocer simultáneamente la *intensidad*, la *localizacion* i el *desarrollo* de la materia en estudio en una *época* o en un *trascuro de tiempo* dado. Hai infinitas variedades de esta clase de mapas; entre ellos mencionaremos los

Demográficos: movimientos de poblacion, nacimientos, matrimonios, defunciones.

Educacionales: grado de instruccion, asistencia a escuelas.

Profesionales: Distribucion de oficios i profesionales.

Etnológicos: distribucion de razas.

Antropológicos: estudios acerca de la estatura, peso, longevidad.

Sanitarios. Desarrollo i marcha de epidemias o enfermedades palúdicas, estado sanitario comparativo en las diversas estaciones.

Meteorológicos, en los cuales se indican las presiones barométricas, las temperaturas, estado higrométrico, corrientes oceánicas, etc.

Industriales o agrícolas, referentes al desarrollo de las industrias o cultivos.

h.—**Mapas políticos i administrativos**, que son los llamados comunmente *jeográficos* donde se indican los límites i circunscripciones de diversos órdenes.

i.—**Jeológicos**, donde se señalan las diversas rocas i formaciones, que aparecen en la superficie terrestre, o solamente ciertos *depósitos salinos*, o ciertas *vetas* o *mantos* de hulla, metalíferas, etc.

j.—**Mapas científicos**, de toda clase, por medio de los cuales se da a conocer la distribucion en la superficie terrestre de la *fauna* o *flora*, la *intensidad* de ciertos fenómenos como la *temperatura*, la *desviacion* de la brújula, la *fuerza magnética*, etc. etc. i finalmente,

k.—Mapas ilustrativos de todo orden, con los cuales se acompaña hoy todo trabajo que toca de cerca o de lejos a la jeografía; sea para indicar el derrotero de expediciones; el adelanto de ciertos trabajos, la estension i distribucion de operaciones científicas o industriales de cualquier clase, etc.

B.—**CARTAS HIDROGRÁFICAS.**—En esta segunda categoría pueden distinguirse.

a.—**Planos particulares** de puertos, bahías i fondeaderos con indicacion de los puntos de surjidero, sondas i clase de fondo, plano de las poblaciones ribereñas.

b.—**Cartas de detalle de canales, rios, estrechos, pasos navegables, a grande escala.**

c.—**Planos de costa** con detalle de la topografía, i jeneralmente con curvas de profundidad, indicacion detallada de los puntos salientes, escollos, bajíos, faros, luces de puerto, boyas etc., etc.

d.—**Cartas de Navegacion** por altura, propiamente *cartas náuticas* que comprenden el trazo de las costas, sondajes oceánicos, corrientes, sargazos, etc., situacion de las islas, rocas aisladas i todos los accidentes que atañen a indicaciones de la navegacion, especialmente la variacion de la brújula de trecho en trecho.

C.—**LAS CARTAS CATASTRALES** de que ya hemos hablado son puramente planimétricas i solo conciernen a la subdivision de la propiedad en parcelas, indicando los límites de éstas, los de propiedad, los comunales i administrativos, i a menudo las clases de construccion i cierros que contiene cada parcela. Los planos catastrales se componen de:

a.—**Planos parcelarios** de detalle, a diferente escala segun los distritos.

b.—**Cuadros de union** comunales, cantonales, departamentales, etc., que sirven para la conexion de los primeros.

Escalas adoptadas

Si bien para el catastro urbano suele usarse la escala de $1/100$ i con mas frecuencia la de $1/200$ i de $1/500$; puede sin embargo decirse que las mayores escalas usadas en trabajos topográficos son las en $1/000$ (aceptada para el catastro rural en Francia), $1/2000$ (aceptada para el catastro Italiano) i $1/2500$ (Parish maps del catastro ingles).

La escala de $1/10,000$ (un decímetro por kilómetro) a $15,000$ es usada casi esclusivamente para levantamientos militares de precision, accesos de plazas, fuertes, etc.

El mapa de detalle del Reino Unido es levantado i publicado a la escala de $1/10,560$; lo llaman County maps.

La escala de $1/20,000$ es empleada para planos parciales de trechos importantes de territorio, alrededores de ciudades, etc. Tambien se ha adoptado para los mapas topográficos de Bélgica i Dinamarca.

La escala de $1/21,000$ es la del levantamiento del nuevo mapa de Rusia principiado en 1893.

La escala de $1/25,000$ es la aceptada hoy dia por los principales paises europeos para las cartas topográficas de detalle, jeneralmente a esa misma escala, esceptuando las partes muy montañosas. Han adoptado esta escala Holanda, casi todo el imperio Aleman, Suiza e Italia i para el levantamiento en España.

El $1/25,000$ i $1/28,800$ han sido empleados para los levantamientos de la carta de Austro Hungría.

La escala de $1/40,000$ es empleado en Francia para el *levantamiento* de la carta topográfica de Francia i Arjelia.

La escala de $1/42,000$, es la del levantamiento de la carta de Rusia, que se ha empezado ahora al doble de esa escala.

La escala de $1/50,000$ es empleada para el dibujo i publicacion de la carta de España, para las partes montañosas de Italia i Suiza i para las partes mas pobladas en Portugal.

La escala de $1/75,000$ es la del plano topográfico Jeneral del imperio Austro Húngaro i $1/80,000$ la de la carta del Estado Mayor en Francia, escala que se adoptó por aproximarse a la de $1/86,400$ adoptada primitivamente para la carta llamada de *Cassini*.

La escala de $1/100,000$ es la de publicacion del nuevo «Mapa vecinal» de Francia; del mapa de Tunisia, del Portugal, de Suecia i Noruega, de la carta Dufour en Suiza, i de cartas topográficas reducidas en Italia e Imperio Aleman (Estado mayor prusiano).

La de $1/126,000$; de la carta topográfica jeneral de la Rusia.

Las escalas menores de $1/100,000$ se consideran hoy inadecuadas para el levantamiento i el dibujo topográfico i solo se aplican a los territorios demasiado estensos como la India inglesa donde se ha adoptado la de $1/253,440$ (una pulgada por 4 millas inglesas) i aun la mitad $1/506,880$. (63)

En Chile, como sabemos, Pissis empleó $1/250,000$ para la publicacion de su carta topográfica, que fué levantada a la escala de $1/100,000$.

En la República Argentina, la naturaleza del terreno i su poca subdivision ha permitido levantar a $1/400,000$ la carta topográfica i registro gráfico (catastro) de la provincia de Buenos Aires.

(63) Casi todos los datos anteriores son tomados del «Report upon the 3d Geographical Congress of Venice, 1881». Washington, 1885.

Las escalas inferiores a $1/500,000$ se consideran como cartas *jeográficas*; hoy día se usan casi exclusivamente las cartas a escala decimal $1/1,000,000$ $1/1,500,000$ $1/2,000,000$, etc., excepto en las cartas de navegacion en las cuales, no siendo la escala uniforme, por el sistema de proyeccion empleado, no se usa mas escala que la graduacion en minutos (millas náuticas) sobre el meridiano.

Métodos de proyeccion

Desde que la Francia empezó su carta topográfica, empleando la proyeccion de *Bonne* (proyeccion cónica modificada) cuyo distintivo es conservar las superficies i los arcos de paralelos sin alteracion, este sistema fué sucesivamente adoptado por Inglaterra, Alemania, Italia, Rusia, etc. Sin embargo la deformacion angular de este sistema se hace muy notable al apartarse del meridiano medio, i en los países muy estensos de E. a O. como la India inglesa i los Estados Unidos se hizo necesario buscar otras modificaciones de la proyeccion cónica, la mas perfecta de las cuales, es la llamada *proyeccion policónica*. Para el caso de un territorio muy extenso en el sentido del meridiano i poco en el de los paralelos es especialmente conveniente la proyeccion *policónica rectangular*.

Mas, la eleccion de cualquiera de estos sistemas de proyeccion supone que con el mapa o plano se haya de formar un solo conjunto, cosa que no es absolutamente necesaria, pues con las escalas actualmente usadas ($1/100,000$ a $1/25,000$) para los trabajos topográficos, el mapa de un país consta siempre de un gran número de pliegos u hojas, de las cuales raras veces se ofrece reunir mas de nueve a la vez. Ahora bien, un arco de meridiano de un grado no alcanza a diferir de su proyeccion sobre el plano que le es tangente, en 2 metros, lo que a la escala de $1/25,000$ es ménos de $1/10$ de milímetro, mientras a esa escala el largo del grado es mas de 4 metros. A la escala de $1/100,000$ el largo

del grado es siempre mas de 1 metro; se vé pues que dentro de los límites de la práctica la parte de un plano topográfico que se podrá utilizar en conjunto puede siempre proyectarse sin alteracion sensible sobre un plano tanjente al esferoide terrestre.

Por otra parte las hojas de los planos topográficos que en la antigua carta de Francia eran de 0.^m50 x 0.^m80 se han reducido últimamente, pudiéndose decir que hai tendencia en acercarse a la pequeña dimension del Atlas Suizo, que es de 25 x 30 ^{cm}.

Tomando en cuenta estas consideraciones, la Italia, la España, Austro Hungría i la Francia (en el mapa al 100,000° del servicio vecinal) han adoptado un sistema de proyeccion *poliédrico* o *policéntrico*, (64) que consiste en sustituir al esferoide nn cuerpo poliedro, que tiene tantas caras planas como hojas tiene el mapa, siendo así cada hoja la proyeccion *natural* u *ortogonal* del trapecio esferóidico que representa.

En Italia, donde se adoptó este sistema para la nueva carta en 1872, cada elemento plano es un folio de la carta de 1/100,000, formado por un trapecio simétrico cuyas bases corresponden al desarrollo de 30 milímetros de arco de paralelo i cuyas alturas a 20 minutos de arco de meridiano; cada hoja de las cartas a 1/50,000 i a 1/25,000 siendo del mismo tamaño que las anteriores, representa respectivamente 1/4 i 1/16 de las hojas de la carta de 1/100,000, i los elementos para construir cualquiera de éstas han sido publicados por el I. G. M. en un folleto titulado «Istruzioni sulla projezione naturale applicata alla formazione delle carte d'Italia».

(64) Esta proyeccion viene tratada en «Levers Topométriques» del Coronel Goulhier páj. 496 i siguientes.

Es singular que no se haga mencion de este sistema de proyeccion, que es la mas sencilla i natural, ni en el «Traité des projections» de *Germain*, ni en la monografía «Comparison of the relative value of the policonic projection used in the Coast and Geodetic Survey with some other projections», (Apéndice 15, C. & G. S. Rep. 1880).

Subdivision en hojas

La regla seguida en la «Carte de l'Etat Major» de Francia, i despues por Inglaterra, Suiza, India, etc., fué de trazar perpendicularmente al meridiano medio, por su parte media otro eje perpendicular a él, i sobre este sistema de coordenadas rectangulares basar la division del mapa en hojas, cuyas líneas de márjen formaban ángulos tanto mas notables con los ejes coordenados, cuánto mas se alejaban del oríjen.

No hai ahora para que insistir sobre los inconvenientes de este sistema: los países que han aceptado la proyeccion natural (o policéntrica), i una subdivision en hojas de pequeño tamaño, han ceñido esta subdivision al trazo de los meridianos i paralelos, dándoles una amplitud constante en longitud i latitud.

Esto ofrece, es cierto la irregularidad de que el largo de las hojas *en centímetros*, en el sentido del paralelo no es constante, disminuyendo del ecuador al polo; esta diferencia llega para la Italia a 6,5 centímetros, para la Francia poco ménos i no entraña inconveniente alguno en la práctica, reduciéndose la falta de uniformidad a que unas hojas tienen mas márjen que otras.

Hé aquí por lo demas el detalle de las hojas en los cuatro países que han adoptado este sistema de proyeccion i division de hojas.

Países	Minutos de paralelo	Minutos de Meridiano	Escala	Número de hojas	Precio c/u
Austro Hungría...	30	15	1/75,000	715	fr. 1.25
Italia.....	30	20	1/100,000	277	1.50
España.....	20	10	1/50,000	1090	7.50
Francia (vecinal)...	30	15	1/100,000	580	1.25

La distribucion en hojas de cada mapa se halla siempre indicada en un índice gráfico (cuadro de union) que forma parte de los catálogos de venta de los planos. Las hojas tienen jeneralmente una sola numeracion; en Italia la numeracion pertenece a la carta de escala 1/100,000; las de 1/50,000 se distinguen dentro de cada una de las otras por los números I, II, III, IV, i las de 1/25,000, dentro de éstas por los índices NE., NO., SE., SO., segun el lugar que ocupan, de modo que una hoja del plano de 1/25,000 se designa así (179, II, NO.).

En la carta del servicio vecinal de Francia se designa por números romanos cada faja meridiana de medio grado de amplitud, i por números árabes cada faja entre paralelos de 15 minutos de amplitud, de manera que cada hoja tiene dos números, el romano correspondiente a la faja vertical, i el árabe a la faja horizontal en que se encuentra.

Dibujo de los planos

Bajo este título comprendemos todo lo que se refiere a la manera de representar sobre el papel los accidentes del terreno i los trabajos de viabilidad o construccion que deben aparecer en los mapas; los puntos principales son tres

- a) Orografía.
- b) Colorido.
- c) Signos convencionales.

Orografía.—La manera como se ha de representar el relieve del terreno en un plano depende esencialmente del objeto a que ha de servir i de la precision de los datos que fijan ese relieve.

Cuando se tiene en vista solo el efecto a la vista, se tratará de acentuar el relieve por sombras, i cuando se desea precisar

las diferencias de nivel, se emplean las *curvas de nivel* o un *sistema misto*.

El sombreado de las montañas se produce por medio de *hachuras convencionales*, *hachuras artísticas*, *estompado*, o *fotografía de un relieve*.

Las *hachuras convencionales* pretenden indicar con un *diapason* o *escala* de grueso de las líneas, las pendientes del terreno; este sistema requiere la hipótesis de una luz zenital o vertical, lo cual perjudica mucho al efecto. La proporcion entre el grueso de la hachura i la pendiente del terreno exige un trabajo mui grande para ser bien aplicado, como lo ha sido en Francia, Prusia e Italia. Ahora casi no se usa.

El *hachurado artístico*, en el cual queda mucho a la discrecion del dibujante i del grabador para acentuar el relieve, se emplea jeneralmente con luz oblicua, que se supone venir dirijida del NE. con inclinacion de 45° sobre el horizonte. Este sistema ha sido mui bien aplicado en la carta de Chile de Pissis i en la carta de Suiza a 1/100,000 del jeneral Dufour.

El principal inconveniente de las hachuras, es que los rasgos tupidos i gruesos de las rejiones montañosas perjudican a la claridad de la nomenclatura. Sin embargo este sistema es todavia mui usado para las cartas topográficas de escala inferior a 1/50,000.

El simple *estompado*, jeneralmente producido por litografía con tinte de sepia, es usado ahora casi esclusivamente para cartas jeográficas, de escala inferior a 1/100,000, teniendo la gran ventaja de dejar toda su claridad a la nomenclatura en las rejiones mas montañosas. Su ejecucion es tambien mucho mas económica que cualquier otro sistema.

El sistema mas perfecto de representar a la vista el relieve de un terreno es indudablemente el de usar para ésto un tras-paso fotográfico tomado de una carta *en relieve* convenientemente iluminada de la rejion de que se trata. Este sistema no se ha practicado aun en grande escala, puesto que supone la

existencia de esa carta, i solo lo mencionamos aquí porque creemos que en el porvenir será de mucha importancia. Lo hemos visto aplicar con efecto admirable en los planos estratégicos de los accesos de plazas fuertes en Francia, i en un plano de los alrededores de Londres. También se suele aplicar en cartas jeográficas.

En las cartas topográficas modernas levantadas con numerosas cotas de nivel, i publicadas a escalas de 1/50,000 o mayores, se emplean hoy casi esclusivamente las *curvas de nivel* para indicar la altimetría o hipsometría. Estas curvas se suponen representar la interseccion del terreno con planos horizontales sucesivos, separados por intervalo vertical de 5, 10, 20 o 30 metros, que se llama *equidistancia*.

Las curvas de nivel, se usan ahora esclusivamente en los planos topográficos de Italia, Alemania, Suiza, España, levantamiento de precision en Francia, en el plano topográfico del Canadá i en los del «Geological Survey» de los Estados Unidos.

Tiene este sistema la gran ventaja, cuando las curvas son bastantes exactas, de que pueden formarse sobre el plano perfiles en cualquier direccion, prestándose así a toda clase de estudios i anteproyectos.

Cuando se emplean las curvas de nivel en planos de escala inferior al 1/50,000 señalan jeneralmente ciertas líneas, de cada 100 metros por ejemplo con un rasgo mas grueso. A veces tambien se ha adoptado una equidistancia diversa para las rejiones montañosas que para las planas, o se han suprimido las curvas en la llanuras con poco declive.

Los inconvenientes i deficiencias inherentes a cada uno de los sistemas de representacion gráfica del relieve del terreno han hecho discurrir varios *modos combinados*, actualmente mui usados:

En Italia, para la carta al 1/75,000 se ha empleado *hachuras* i *curvas de nivel* simultáneamente.

En Suiza, se usan las curvas para toda orografía; sin embargo los riscos, farellones de rocas, etc., son hachurados.

En Sajonia, i en ciertos planos franceses se combina el uso de las curvas de nivel con el sombreado a la estompa, resultando así planos que tienen la triple ventaja de la perfeccion jeométrica, el aspecto artístico i la claridad.

Colorido.—Un plano que contenga profusion de detalles, por mui grande que sea la escala, resulta algo confuso cuando todo el dibujo e inscripciones son de un solo color. Esto puede observarse en las hojas de la carta de Italia a la escala de $1/25,000$; ríos, caminos, curvas de nivel no se pueden distinguir a primera vista, i es difícil forman idea de conjunto a la vista del mapa.

Por esta razon, apesar del aumento bastante considerable que esto implica en los gastos, se ha jeneralizado el uso de emplear dos o mas tintas de color en los planos topográficos.

En el plano topográfico de Suiza al $25,000$ que puede considerarse como un tipo de claridad, las aguas son *azules* i las curvas de nivel color *siena*; todo el resto negro.

En la carta de Francia al $80,000$ llamado tipo 89, se ha seguido el mismo sistema, i basta comparar estas hojas con las correspondientes del tipo antiguo para darse cuenta de la ventaja del colorido.

Actualmente, lo mas comun es emplear hasta cinco colores en los planos detallados como en la carta de España al $1/50,000$ i la del servicio vecinal de Francia al $1/100,000$.

Esta última, por la gran cantidad de indicaciones que contiene en atencion a la pequeña escala, puede considerarse como un tipo digno de imitarse, por esto citaremos la distribucion de sus colores:

El **azul** para los mares, ríos i arroyos, canales, indicios de navegabilidad, vados, manantiales, molinos, lagos, estanques pantanos i cotas de altura.

El **verde** para los bosques i sus caminos.

El **rojo** para los caminos nacionales, i vecinales, fuentes termales i minerales i cifras de poblacion.

El **negro** para todas las demas indicaciones.

El estompado **gris** para el relieve del terreno. A éstos colores se suele agregar el color **sepia** para las curvas de nivel. (65)

Modelos mas apropiados a nuestro terreno i elaborados con arreglo a las ideas mas modernas, nos ofrece el mapa topográfico del Canadá i las hojas del levantamiento jeológico de Estados Unidos.

Signos convencionales.—Segun un reciente estudio cartográfico (66) se han usado hasta ahora en los planos topográficos europeos, no ménos de 1,148 signos o escrituras convencionales relativos a 1) accidentes naturales; 2) medios de comunicacion; 3) agricultura; 4) comercio; 5) manufacturas; 6) minas; 7) misceláneas; 8) militares; 9) tecnicismo; 10) límites.

Esto se refiere a toda clase de planos incluyendo los especiales; en los puramente topográficos el número de signos convencionales es mas o ménos de 80.

(65) Detalles interesantes acerca del dibujo de los mapas europeos se hallan en el folleto «Progressi della Cartografia in Europa» por A. Botto, Roma, 1893.

(66) *Congress of Venice Rep.* p. 85.

(Se Continuará)