

Discurso de incorporación a la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Chile

POR

ENRIQUE DÖLL

Señores:

La exquisita amabilidad y el aprecio con que siempre me han distinguido mis antiguos colegas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, han sido nuevamente confirmados con el llamado que se me ha hecho para ocupar un asiento como miembro académico de esta misma Facultad. Acepten mis apreciados colegas todo mi agradecimiento por el honor que se me ha dispensado.

Dando cumplimiento a la disposición de los Estatutos Universitarios, cumplo previamente con la grata obligación de recordar los servicios y los méritos de mi ilustre predecesor don Manuel Salustio Fernández, cuyo fallecimiento ha sido profundamente lamentado por los miembros de la Facultad de Matemáticas especialmente y por los de la Universidad de Chile en general.

Siento verdaderamente que la circunstancia de no haber conocido personalmente al señor Fernández, no me permita hacer apreciaciones propias sobre la vida de este ciudadano virtuoso e ilustrado, hombre de verdadera ciencia y de verdadero talento matemático y economista, escritor culto, claro y elegante, de variada y sólida instrucción, cuya muerte ha dejado un hondo vacío en la sociedad chilena.

He tenido que recurrir a las informaciones de sus amigos, al estudio de sus obras y al recuerdo que de él tienen sus subalternos, para poder esbozar en forma breve pero justiciera la labor realizada por el señor Fernández en su larga vida.

Nació el señor Fernández en Concepción, en Junio de 1832 y muy joven se trasladó a esta capital para educarse en el Instituto Nacional, de cuyas aulas han salido tantos ilustres servidores públicos. Terminados sus estudios en el Instituto, se incorporó a los cursos de matemáticas de la Universidad de Chile y en 1851 recibió su título de Agrimensor General. Su memoria de prueba versó sobre estadística, teniendo por tema la mortalidad en las provincias de Chile: mereció ella el honor de ser publicada en los Anales de la Universidad.

Poco tiempo después fué nombrado profesor de matemáticas del Liceo de la Serena, cátedra que obtuvo en concurso. En Marzo de 1853 la Universidad de Chile le abrió sus puertas para confiarle uno de los cursos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Al incorporarse a esta Facultad leyó un discurso sobre el «Fomento de las Matemáticas en Chile». Desgraciadamente el profesorado no estuvo por mucho tiempo al señor Fernández: en Noviembre de 1856 dejaba su cátedra para ir a ocupar un puesto en el Ministerio del Interior como jefe de una de sus secciones, empleo que desempeñó hasta 1859.

Dos años después era elegido Diputado al Congreso Nacional, donde manifestó en toda oportunidad una indiscutible competencia en las cuestiones económicas. Por esta misma época insertaba en los Anales de la Universidad un notable retrato biográfico de don Andrés A. de Gorbea, a quien puede considerarse como el organizador de los estudios matemáticos en nuestro país. Gorbea y su obra están juzgados en el trabajo del señor Fernández con el noble amor del discípulo y con el reconocimiento del hombre de ciencia, de progreso y de talento hacia uno de los infatigables obreros de nuestra ilustración.

En el mismo año de 1861 se le nombró Intendente de Maule, en cuyas funciones demostró facultades especiales de inteligencia y laboriosidad administrativas.

Terminado su periodo constitucional en 1864, renunció el puesto administrativo y se dedicó a sus asuntos particulares, pero en 1867 volvía nuevamente a la vida pública presentando su candidatura al Congreso Nacional, como representante del departamento de Linares. En 1870 formó nuevamente parte del Congreso Constituyente en representación del mismo departamento de Linares.

Alejado de la vida política, se dedicó con todo tezón y entusiasmo al desarrollo de sus inclinaciones económicas.

El señor Fernández fué el primer Gerente del Banco de Chile y después del Banco Español de Chile, y hasta su muerte, Consultor General de esta última institución de crédito.

Siendo Gerente del Banco de Valparaíso en Santiago, redactó el Reglamento del Fondo de Ahorro y de Retiro que se estableció entonces en dicho Banco y por primera vez en instituciones de esta clase. Así mismo debido a su iniciativa, fué el Banco Valparaíso el primero en abrir una sección especial para operaciones hipotecarias a largo plazo, sección que, junto con la fundada después en el Banco Agrícola y en el Nacional de Chile, sirvieron de base al actual y muy próspero Banco Hipotecario de Chile.

Las lecturas predilectas del Señor Fernández fueron las obras relativas a asuntos económicos y de finanzas en los cuales adquirió una gran competencia. En dos ocasiones fué llamado a desempeñar el Ministerio de Hacienda por los Presidentes Balmaceda y Jorge Montt.

Siempre lamentó que la falta de energía en los poderes públicos para amoldar los gastos a los modestos recursos de una nación pobre, hubieran ocasionado

el derrumbe de la conversión metálica que con tantos sacrificios había logrado establecerse en 1895.

Desde muy joven el Señor Fernández colaboró en los periódicos, publicando numerosísimos artículos sobre temas muy variados. Es también autor de varios textos de enseñanza, habiendo sido muy útil el que publicó con el título de «Manual del Sistema Métrico».

La dulzura de su carácter y su rectitud y espíritu de justicia eran proverbiales; y aún cuando en su puesto de árbitro del crédito que ejerció durante tantos años se vió obligado a decir *nó* muchas veces, no tuvo un sólo enemigo.

El Señor Fernández, que vivió manejando la mayor parte de su vida cuantiosos intereses, dejó a su muerte ocurrida a los 82 años una modestísima fortuna, la que no está en relación con la rara potencia para el trabajo que demostró durante toda su vida mi distinguido antecesor.

Puedo decir en resumen que el Señor Fernández satisfizo ampliamente el retrato que de él hicieran los hermanos Alemparte cuando manifestaban que era un carácter modesto, espíritu moderado y práctico, temperamento tranquilo, es, sin embargo, muy capaz de batirse en la vanguardia. No es un luchador brillante, pero es un propagandista activo y convencido. Posee la calma de la perseverancia. Nunca hará mucho estrépito; mas, hará siempre su camino.

*
* *

He elegido como tema para mi disertación un asunto que considero íntimamente ligado con todas las obras de Ingeniería Civil, como ser ferrocarriles, canales, caminos etc. y al cual todavía no se le ha dado en nuestro país la importancia que verdaderamente tiene. Me refiero al levantamiento de la Carta de la República.

En efecto, el conocimiento exacto de la topografía de un país facilita considerablemente la solución más acertada de todas las obras de progreso para una nación y constituye al mismo tiempo una economía considerable para la mejor ubicación de las obras a que he hecho referencia. Por este motivo, los países más adelantados que el nuestro han gastado desde hace muchos años sumas considerables con el objeto de tener una representación gráfica de su territorio.

Podemos considerar que la cartografía general de un país comienza a fines del siglo XVIII con la carta de Francia, denominada de Cassini (1) por uno de los prestigiosos astrónomos de este nombre, o también Carta de la Academia, por la famosa institución científica francesa creada en 1666.

Tiene el mérito la Carta de Cassini de haber sido la primera obra general

(1) Cassini de Thury, (1714-1734), nieto del primer director del Observatorio de París.

extensa de esta especie basada en la triangulación, método ideado por el holandés Snellius (1) y aplicado por éste a partir de 1615.

La solución dada en 1615 por Snellius al problema de la mensura por medio de triangulaciones, se ha conservado en principio, variando sólo en cuanto a los métodos empleados para llegar al resultado y la precisión obtenible.

Jordan, notable geodesta de prestigio mundial, ha dicho con tanta propiedad como ingenio, que «un trabajo moderno de mensura puede sin duda compararse hoy día con la construcción del ingeniero, cuyos cimientos (operaciones fundamentales geodésicas necesarios a la estabilidad del todo, se escapan a las miradas del espectador neutral, mientras que la superestructura planos y cartas topográficas se somete al juicio más o menos competente de cada uno».

En efecto, como lo establece el distinguido geodesta citado, sobre los trabajos geodésicos, o sea, sobre el fundamento de la carta, poco o nada sabe la generalidad de las personas, pues no se hace visible en la reproducción gráfica sino como un corto número de pequeños signos convencionales que indican la situación de los vértices y, en cambio, las operaciones del detalle, mucho más aparentes y vistosas, son discutidas y controladas a cada momento por los técnicos que recorren el terreno teniendo oportunidad de comparar directamente las formas y accidentes topográficos con su reproducción en el papel. La ardua tarea del geodesta pasa así casi desapercibida; sus bases y grandes triángulos sólo se discuten en un círculo muy reducido de hombres de ciencia y, sin embargo, sin la precisión de estas operaciones, como sin la intachable construcción de los cimientos de un edificio, el resto de la obra está expuesto a un seguro derrumbe.

Como base del trabajo topográfico, se requiere disponer de un cierto número de vértices demarcados establemente en el terreno, de sus coordenadas referidas a ejes orientados sobre la superficie de la Tierra, de las alturas relacionadas con el nivel medio del mar y, por último, de las descripciones o elementos necesarios para encontrar los puntos en el terreno, reconocerlos y verificar su estabilidad o conservación.

En lo referente a la carta general y al catastro, nuestro país se encuentra en condiciones favorables, pues puede ahorrarse la costosa experimentación que ha precedido a las grandes obras de esta especie. En efecto, a cada trabajo geodésico de importancia ha correspondido una serie de publicaciones, ya sea instrucciones o descripciones y resultados de los métodos empleados, con indicación de sus ventajas e inconvenientes. Es necesario, sin embargo, tener presente que no basta adoptar los sistemas implantados con más o menos éxito en otros países, por el sólo hecho de encontrarse en mejores condiciones de progreso que el nuestro; será indispensable estudiar en cada caso la adoptabilidad de los sistemas de trabajo a las condiciones del clima y del terreno; y en cuanto a la organización de los tra-

1 Willebrord Snell van Roien, llamado Snellius. 1580-1626.

bajos, no sería posible desentenderse de lo dispuesto en la legislación nacional, pues son nuestras leyes y no otras las que debemos acatar.

Los altos intereses del Estado imponen que la Carta General de la República se ejecute en forma que satisfaga a todas las necesidades de la administración pública, ya sean civiles, militares o políticas, naturalmente dentro de los límites posibles de la escala adoptada para el trabajo original del cual se deduce o deriva, por reducción o generalización el resto de la cartografía nacional.

Los trabajos geodésicos primarios, o sea, el conjunto de los grandes triángulos, no sólo tienen hoy día por objeto servir de base al resto del levantamiento, estableciendo un marco estrecho dentro del cual debe armonizarse el conjunto, sino que dichos trabajos se utilizan también para estudios superiores de la figura y dimensiones de nuestro globo, pues ningún país, por cortos que sean sus recursos, puede lógicamente excusarse de contribuir al progreso de la ciencia.

A causa del desarrollo siempre creciente de la construcción de ferrocarriles, canales de regadío y de navegación, caminos etc., las necesidades de la técnica civil en cuanto a la cartografía, han aumentado en los últimos tiempos. Ya en 1890, Derréagaix, al informar sobre los resultados del Congreso Internacional de Ciencias Geográficas, reunido ese año en París, decía «que la carta topográfica de un país debe descansar hoy día sobre levantamientos a gran escala, y por consecuencia, sobre levantamientos de precisión» para de este modo poder servir con acierto a estudios preliminares de obras de ingeniería civil.

Por su parte, el General Frank, jefe del levantamiento militar de Austria-Hungría, exponía en 1904, en un interesante trabajo, «que el levantamiento moderno de un país, siempre se ejecuta de modo que sea una representación fiel del terreno, tanto como lo permite la escala elegida, a fin de que satisfaga a todas las necesidades posibles. Cada profesión debe encontrarse en condiciones de llenar sus necesidades cartográficas tomando como base sus datos.

Así, por ejemplo, para el técnico se procurará disponer de la exacta dirección de las curvas de nivel, mientras que el militar da la preferencia más bien a las verdaderas y claras formas del terreno; así, será justamente tarea del topógrafo satisfacer la primera demanda, mientras que el cartógrafo tiene que tomar en cuenta la segunda exigencia».

Siendo las necesidades civiles las más exigentes en cuanto a la cartografía nacional, y pudiéndose satisfacer por simple proceso cartográfico las necesidades militares de igual clase, son evidentemente las primeras las que deben tomarse por base al estudiar el establecimiento de las características para la ejecución del levantamiento original, dado que, satisfechas éstas se llegará al resultado de colocar a las autoridades militares en condiciones de elaborar, partiendo de aquel levantamiento, la carta de guerra por intermedio de los técnicos a sus órdenes.

Las condiciones generales con que debe cumplirse todo levantamiento, han sido bien caracterizadas por Hartl al decir que «el técnico debe quedar en condiciones de ejecutar en el gabinete los estudios preliminares de caminos y ferroca-

riles y otros estudios de esta índole, empleando el material de levantamiento del Estado». (1).

De estudios hechos por el ingeniero norteamericano Van Crnum (2 se desprende la gran importancia del cumplimiento de la condición tan claramente expuesta por Hartl, de que el técnico pueda ejecutar en el gabinete los estudios preliminares de ferrocarriles, canales, caminos, etc., pues Van Crnum llega a la conclusión de que en los Estados Unidos ya sólo el estado de Massachusetts habría ahorrado ochenta millones de dollars y el de New York otros ciento sesenta si hubiesen dispuesto de cartas con curvas de nivel, al tiempo de iniciar su construcción de ferrocarriles. No otra cosa, aunque en menor escala, habría sucedido entre nosotros, pues todo lo que se gasta en la carta general, siempre que se trate de un trabajo que satisfaga a los técnicos; se reembolsará poco a poco por la economía que ello significa en otros servicios de la administración pública.

A la época de nuestra emancipación política la cartografía nacional no se encontraba en un estado de desarrollo uniforme, pues, aunque a lo largo de la costa se habían llevado a cabo bajo la dominación española una serie de trabajos de carácter hidrográfico, como ser los de Moraleda Malaspina y Colmenares, para no citar en obsequio de la brevedad sino algunos de los últimos de aquel periodo, en cambio de la parte interior del país existían únicamente meros croquis que sirvieron durante largos años de base para diseñar ligeramente algunos detalles en ciertos mapas, como ser la carta española de Cano y Olmedilla y en la inglesa de Arrowsmith. En cuanto a la región cordillerana, aunque conocida de viajeros en las inmediaciones de un cierto número de pasos, era toda «terra incognita» para la geografía.

Ya en 1823, el Ministro de la administración Freire, don Mariano Egaña, pudo estimar en toda su importancia la falta de una buena cartografía, al tratarse de estudiar la subdivisión de la República en provincias, cuestión que ocupó seriamente en más de una ocasión al parlamento sin que hasta la fecha haya llegado a ser cuestión resuelta, especialmente en lo que se refiere a los límites de algunos departamentos.

Por decreto de 26 de Junio del año citado, el Ministro Egaña, encomendaba a don Juan José Dauxio Lavaysse la misión de llevar a cabo un viaje científico por el territorio. Poco tiempo después, el 20 de Diciembre del mismo año de 1823, dábale al coronel de ingenieros, don Alberto Bacler d'Albe, distinguido oficial francés al servicio de Chile, y al ingeniero de la misma nacionalidad, don Carlos Ambrosio Lozier, la misión de emprender ya una obra de largo aliento, cual es la confección de un mapa del país acompañado de una descripción topográfica. Nada real resultó de esta segunda comisión como tampoco de la primera. Aunque Bacler d'Albe tenía, al parecer, los conocimientos del ramo que en aquellos años era po-

(1) Hartl.—Anales del Instituto Geográfico Militar de Viena, 1890.—Página 206.

(2) Van Crnum.—Topographical Surveys and their value.

sible adquirir, no puede decirse otro tanto y en forma tan favorable de Lozier, y esta magna obra nacional, superior por cierto a los medios de que aquellos hombres podían disponer y al máximo de esfuerzo que les hubiera sido posible poner en juego, no pasó más allá de los pocos renglones del decreto.

Nuestro eminente historiador, don Diego Barros Arana, al relatar aquellos empeños para llegar a la posesión de una carta de la República, dice, respecto a Bacler d'Albe que «sus planos generalmente buenos y bastante bien dibujados, dejaban ver un hombre experimentado en esta clase de trabajos», pero que no sabe si sus conocimientos eran suficientes para levantar una carta geográfica como la que se le había encomendado. En cuanto a su colega Lozier, dice el historiador que se trataba de «una especie de ideólogo dotado de ciertos conocimientos generales, pero sin lo necesario para desempeñar aquella comisión.»

Difícil sería en la actualidad establecer claramente el motivo del fracaso de aquel laudable interés por la cartografía nacional que se demostró en los primeros años de la vida independiente de nuestro país. El hecho es que poco más tarde aparece Bacler d'Albe, el único competente para emprender los trabajos, desempeñando otras comisiones completamente ajenas al levantamiento de la carta del país.

Cualesquiera que fuesen las causales del abandono de la obra encomendada a Bacler d'Albe y Lozier, es digno de llamar la atención el hecho de que, a pesar de la gran escasez de recursos de la joven República, se tratase ya desde los primeros años de la plantificación del territorio nacional, trabajo de larga aliento y de tan vastas proporciones.

En 1828 pisaba nuestro suelo un distinguido hombre de ciencia. Don Claudio Gay, francés de nacimiento que venía en el carácter de contratado para un establecimiento particular de instrucción. Bien pronto llamó sobre sí la atención por sus vastos conocimientos y reconocidos sus méritos por el Gobierno, pasó a servir a la administración pública con el entusiasmo y la energía que le ha reconocido unánimemente la posteridad.

El decreto por el cual se contrataba a don Claudio Gay lleva las firmas del Presidente Ovalle y de su Ministro Portales y es de fecha 14 de Septiembre de 1830. Encargábasele el estudio de nuestro territorio en un plazo de tres años y medio.

Según el contrato, la misión de Gay debía comprender «la geografía física y descriptiva de Chile con observaciones sobre el clima y temperatura en cada provincia, adornada de cartas geográficas de cada una de ellas y de láminas, vistas y planos de las principales ciudades, puertos y ríos». Quedaba de este modo relegado a segundo término el levantamiento de la carta geográfica por cuanto se daba mayor importancia al estudio que le se encomendaba de la geología, historia natural, aguas minerales, etc.

Don Claudio Gay, infatigable explorador científico, inició inmediatamente sus viajes que prosiguió hasta 1839. Informaba sobre los resultados de cada una de

sus excursiones a una comisión designada al efecto por el Supremo Gobierno. En esos informes pueden encontrarse interesantes párrafos referentes al estado de la cartografía nacional antes de que él iniciara sus trabajos. Así, por ejemplo, en un informe que se refería a la región de Coquimbó, decía Gay a la citada comisión:

«Consúltese el mapa de Arrowsmith, que es sin contradicción el mejor, a lo menos por lo que respecta al interior de Chile, se admira uno de que tantos errores se hayan propagado hasta el día de hoy no obstante el gran número de viajes que han visitado estas provincias tan ricas, tan conocidas y tan dignas de la atención del minero europeo».

Con respecto a la geografía del interior de la entonces provincia de Valdivia, Gay se expresaba con verdadera dureza, pues dice dirigiéndose a la comisión con fecha 4 de Julio de 1836: «Desde mis primeras observaciones a este respecto he visto gran falsa, y casi indignas de la crítica han sido las cartas de Chile publicadas hasta la fecha. Hay en ellas errores extremadamente groseros que prueban haber sido ejecutados más bien por la necesidad de no dejar vacíos en los mapas generales, que fundados en un trabajo digno de confianza».

Aunque las cartas de Gay constituyen un gran progreso para la cartografía nacional, no se basaban, sin embargo en una triangulación extendida a lo largo de todo el país. Por otra parte, dicha triangulación no habría sido posible por el escaso tiempo que se pudo dedicar a la parte geográfica, ni tampoco con los medios de que dispuso Gay.

En 1842 regresaba Gay a Europa para ocuparse desde 1844 a 1855 de la elaboración del material recogido con tan decidido empeño. El mapa que acompaña a su obra fué grabado en piedra por la reputada casa de Paris, Erhardt Fiores. En cuanto a su presentación, no dejó que desear en aquella época, no así en lo referente a su uso geográfico, sobre el cual se hicieron más tarde algunas observaciones.

El verdadero carácter de la obra de Gay, en cuanto se refiere a la geografía, ha sido muy bien expuesto en el informe presentado por Boussingault a la Academia de Ciencias de París y reproducido en los Anales de nuestra Universidad en el año 1859

«No puede exigirse, dice Boussingault, que un viajero por más hábil que se suponga, levante solo el mapa de una comarca extensa con la misma precisión que emplearía en esta operación el personal de un cuerpo de ingenieros. El tributo que paga el viajero a la ciencia geográfica, es ordinariamente un bosquejo, cuya importancia de todo punto relativa, depende principalmente de la escasez de documentos más exactos; sus noticias no comprenden por lo regular, más que simples reconocimientos del terreno que, a pesar de todas sus imperfecciones son sin embargo de gran interés, en cuanto ellas indican de una manera general la dirección de las cadenas de cerros, la posición y extensión de los grandes valles, el curso de los ríos; en una palabra, ellas satisfacen a las primeras necesidades de la geografía física. Sin duda trabajos ulteriores rectificarán o añadirán muchos detalles; la

posición de tal ciudad, de tal afluencia de un río será colocada algunos minutos más o menos distante del meridiano; pero por lo regular estas adiciones o rectificaciones no modifican el conjunto».

Con fecha 10 de Octubre de 1848, antes de terminar Gay sus trabajos, se contrató a don Amado Pissis, ingeniero francés que había hecho sus estudios superiores en la Escuela Politécnica de París, para que se encargase del levantamiento de un nuevo mapa del país.

Pissis, que había trabajado en el Brasil y en Bolivia, venía precedido del prestigio suficiente para encontrar el necesario apoyo en la magna obra que se encomendaba a su competencia.

El levantamiento de Pissis se basó ya en una triangulación y esta carta ha sido la única que durante muchos años se ha empleado en el país, siendo su escala la de 1: 250000.

La carta de Pissis, grabada cuidadosamente en cobre, es de una presentación cartográfica satisfactoria, pero en cuanto a su exactitud ha sido objeto de diversas observaciones, entre otras de parte del distinguido ingeniero don Alejandro Bertrand, quien ha publicado un estudio especial al respecto. (1)

El distinguido bibliógrafo, don José Toribio Medina, se expresa en su obra *Mapoteca Chilena*, respecto a la obra de Pissis, en la forma siguiente: «Es fácil comprender que un trabajo de esta naturaleza, ni queda desde luego completo ni puede tampoco dejar de adolecer de errores de alguna consideración; pero tal como es, puede asegurarse que es el mejor de los de su clase levantado hasta ahora en la América del Sur, y que el país y el Gobierno que lo inició y los que lo fomentaron después, pueden sentirse legítimamente satisfechos». 2

En 1834 aparece el primer trabajo hidrográfico nacional y desde entonces a la fecha, año por año han pagado su tributo nuestra Marina de Guerra al progreso siempre creciente de la hidrografía de la costa, tarea ardua y de largo aliento, especialmente en la parte sur del territorio.

Considero inoficioso entrar a detallar las diversas cartas parciales de nuestro país, pero ello ha sido tratado ampliamente por nuestro apreciado colega don Luis Riso Patrón. 3

Basta exponer que cada esfuerzo en el sentido del progreso geográfico representa una contribución no siempre fácil de apreciar en todo su mérito, dado que el ideal en este sentido sólo se alcanza por aproximación sucesiva y aunando muchas energías, voluntades y más de algún sacrificio generalmente ignorado.

1) Bertrand — Memoria acerca de la formación del plano topográfico de Chile.

2) J. T. Medina. — Ensayo acerca de una mapoteca chilena. — Santiago, 1859.

3) Luis Riso Patrón. — Reseña general sobre el estado actual de la cartografía americana. — Santiago, 1909.

Considerándose probablemente por el Gobierno que la Carta de Pissis satisfacía cumplidamente las necesidades cartográficas del país, se abandonó durante varios años toda iniciativa de llegar a un conocimiento más completo de la topografía del territorio. Solo en 1857, al promulgarse la ley de la reorganización de los Ministerios, se encomendó al nuevo Departamento de Industria y Obras Públicas los planos del territorio de la República, que hasta entonces se habían hecho bajo la dependencia del Ministerio del Interior. La creación de la Dirección General de Obras Públicas por ley de Enero de 1888 vino a confirmar la disposición anterior, encomendando a la Sección de Geografía y Minas de esa oficina la confección de cartas del territorio y la recopilación de todos los planos de propiedades de particulares con el objeto de formar una especie de plano catastral. Desgraciadamente, desde un principio no se asignó a la nueva repartición los fondos más indispensables para el cumplimiento de su cometido, de suerte que su labor se ha visto casi completamente anulada por la causal apuntada.

La circunstancia de tener que dar cumplimiento al Tratado de 1881 referente a los límites con la República Argentina trajo como consecuencia en 1889 la organización de la Comisión Demarcadora de Límites con la República Argentina. Durante el periodo de 1889-1906 partían anualmente a la zona de la cordillera de Los Andes comisiones de ingenieros que operaban a lo largo de nuestras fronteras. Esta labor dirigida durante la mayor parte de ese periodo por el distinguido ingeniero don Alejandro Bertrand y realizada pacientemente y casi ignorada del público, fué de resultados altamente beneficiosos para la cartografía nacional. Los trabajos de la Comisión de Límites arrojaron luz sobre más de algún oscuro rincón de nuestras cordilleras, especialmente en la parte austral adonde no habían alcanzado los levantamientos de Gay y de Pissis. Esos trabajos fueron una verdadera revelación al mundo científico sobre la conformación de la Cordillera de Los Andes, entre los paralelos 40° y 52° de latitud.

A los trabajos de la Comisión de Límites, en la parte montañosa, se agregan en 1893 los del Estado Mayor General del Ejército y en 1907 los de la Oficina de Mensura de Tierras, sucesora de la primera, en el valle Central.

La tarea encomendada al Estado Mayor del Ejército y a la Oficina de Mensura de Tierras, es ya de indole bien diversa a los trabajos de Gay y de Pissis. Se trata, en efecto, de levantamientos a gran escala y con curvas de nivel. Ambas oficinas operan a la escala de 1:25(000) para el levantamiento original, pero desgraciadamente con diversas características y con distinta precisión.

Reuniendo todos los datos existentes y completándolos con los trabajos de la Comisión de Límites, la Oficina de Mensura de Tierras publicó en 1910 un mapa de Chile, que puede considerarse lo más perfecto que tenemos hasta la fecha y que por este motivo debe adoptarse como el plano oficial de la República. Levantamientos más exactos y prolijos modificarán sin duda algunos de los datos consignados en esa carta, pero el conjunto permanecerá invariable.

Disuelta la Oficina de Mensura de Tierras a principios de 1915, se creó la

Oficina del Plano Topográfico, la que fusionada con la Inspección General de Geografía de la Dirección de Obras Públicas, tiene a su cargo el levantamiento del plano del país de acuerdo con la ley antes citada de Enero de 1888.

Considerando que la ejecución de planos diferentes por diversas oficinas constituye un derroche de tiempo y dinero no justificado el Gobierno designó en 1916 una comisión, de la cual tuve el honor de formar parte en unión de mi distinguido colega don Luis Riso Patrón para que informara acerca del procedimiento que debiera seguirse en la confección del plano del país. Después de un detenido estudio y con gran acopio de razones, llegamos a la conclusión, que las disposiciones legales, la conveniencia para los estudios de ingeniería civil y las necesidades políticas, obligaban a encomendar a la Oficina del Plano Topográfico la dirección general de los trabajos, sin perjuicio de la ayuda material que pudieran prestarle otras oficinas, como las del Estado Mayor General del Ejército, Oficina de Tierras y Colonización, etc.

Otros miembros de la Comisión, entre los cuales se contaban nuestros colegas señores Obrecht y Poenisch fueron de opinión de que los trabajos iniciados por el Estado Mayor del Ejército debían proseguirse en vista de la labor ya realizada y de las sumas invertidas en ellos.

El Gobierno no ha tomado hasta la fecha resolución al respecto y se ha continuado en la ingrata tarea de llevar adelante dos levantamientos que, por las condiciones enunciadas más arriba, no podrán formar un conjunto armónico.

La magna obra nacional que constituye la Carta General de la República, debió emprenderse de una vez con todo empeño y decisión, pero en forma que satisfaga ampliamente a las necesidades técnicas, civiles y militares, así como también a las del futuro catastro, pues no debe olvidarse lo que ha dicho Frank con toda propiedad que «caja levantamiento de un país exige un gasto tal de tiempo y dinero, que ningún Estado se puede permitir el lujo de un levantamiento doble».

El estudio detenido de las características e instrucciones técnicas para la ejecución de la Carta General de la República, se ha impuesto con la evidencia de los hechos, así como la necesidad de aunar en un solo servicio, de acuerdo con la ley, todos los esfuerzos. En esta forma, una repartición única, robustecida y bien dirigida podría dar término a una obra que nunca será enteramente comprendida en todo su alto interés y vastísimas aplicaciones, ya sea bajo el punto de vista práctico o científico, como en su carácter económico para el Estado. Hombres eminentes, como el ilustre historiador don Diego Barros Arana, han reconocido desde tiempo atrás la verdad de lo aseverado. En su interesante trabajo sobre la vida y obras de don Claudio Gay decía, al tratar del conocimiento del territorio: «Por nuestra parte, creemos que los Gobiernos cultos están en la obligación indeclinable de hacer estudiar su territorio y de dar a conocer a propios y extraños las producciones de su suelo, no sólo por el interés puramente industrial, sino para satisfacer las aspiraciones científicas de toda sociedad civilizada».

Si lo anterior se ha dicho y aplicado con tanta propiedad a los trabajos cien-

tíficos en general, qué no decir en particular, de la Carta de la República, la que, fuera del interés científico lleva en sí un fin altamente práctico y económico a la vez.

He tratado de exponer sumariamente lo que se ha hecho hasta ahora en nuestro país, en cuanto se refiere a la representación gráfica del territorio, y he enumerado lo que actualmente se lleva a cabo. Me asiste la esperanza de haber logrado convencer a mis distinguidos colegas de la importancia primordial que tiene para toda obra de ingeniería civil el conocimiento exacto de la topografía del terreno y de la necesidad imprescindible que existe de que la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, reunión de los miembros más conspicuos de nuestro cuerpo de ingenieros nacionales, trate por todos los medios a su alcance de enrielar hacia un fin determinado el hermoso problema de dotar al país de un plano digno de su cultura.

«Dans les sciences il n'y a jamais rien de plus aisé que se qu'on a fait hier, et rien de plus difficile que se que l'on fera demain».

La experiencia recogida, ahora fácil, nos permitirá abordar con éxito los difíciles problemas del porvenir, cuya correcta solución se encuentra tan directamente ligada a los bien entendidos intereses de la Nación como al fomento y desarrollo de las industrias. Pocas necesidades hay sin duda con carácter de tanta urgencia, encontrándonos al frente de un vasto problema, el cual podremos abordar con nuestros propios elementos nacionales sin el menor temor respecto al éxito que corresponde a la importancia de la obra.

*
* *

He manifestado anteriormente que la base fundamental de todo trabajo topográfico consiste en el levantamiento geodésico más exacto que pueda llevarse a cabo.

Sería conveniente por lo tanto que al continuar los trabajos iniciados en nuestro país se aplicaran uniformemente los principios puestos ya en práctica por la Oficina del Plano Topográfico y que se fundan en la experiencia adquirida en los trabajos de esta índole ejecutados en los países europeos.

Aunque nada de nuevo podría decir al respecto, he querido recopilar brevemente las ideas generales que sobre los trabajos geodésicos son universalmente aceptadas.

«Aquellos trabajos que deben proceder al levantamiento del detalle de un país, se designan en lo principal por las expresiones triangulación primordial y nivelación de precisión», decía el eminente geodesta Helmert, en el Congreso de Geómetras, celebrado en Frankfort en 1877. Las características generales de estos trabajos geodésicos de triangulación y nivelación, preliminares a las operaciones de triangulación inferior y al levantamiento topográfico, como la ejecución de los

cimientos a la construcción de un edificio, necesitan ser fijadas con la mayor precisión

El conjunto de las triangulaciones geodésicas puede subdividirse en triangulación principal, intermedia y de detalle. Se emplea, sin embargo, con más frecuencia la clasificación por órdenes, dándole la denominación de triangulación de primer orden al conjunto de triángulos que constituyen el mayor desarrollo del trabajo, triángulos de tamaños variables, según sean las condiciones del terreno y las dificultades que puedan presentarse por la existencia de bosques, por ejemplo. Así en la triangulación del arco transcontinental norte americano (1) los triángulos de primer orden que en la región oriental bajan aún de 20 kilómetros por lado, suben hasta 294 como máximo en las montañas Rocallosas.

Los tratadistas están de acuerdo en que los triángulos de dimensiones excesivas atrasan invariablemente el trabajo, y que la dimensión de 40 a 60 kilómetros por lado para los de primer orden es a la vez la más apropiada y económica. (2)

Para relacionar la triangulación de detalle, cuyos lados son aproximadamente de 5 a 10 kilómetros de largo, se ejecuta una triangulación intermedia, llamada también de segundo orden, que permite relacionar mejor el trabajo inferior al superior. Los vértices suplementarios se emplean también en el segundo orden cuando para la triangulación de esta categoría ha sido necesario proyectar triángulos de mayor dimensión que la corriente.

En cuanto a la forma de las triangulaciones primarias, las hay de mallas continuas, cubriendo todo el terreno, y otras en forma de cadena o también de polígono.

Los países con gran extensión en todo sentido, como por ejemplo Francia, India, Alemania, Brasil, etc., con el objeto de acelerar el trabajo y poder operar con mayor economía, han empleado redes en forma de parrilla, dejando espacios libres de 200 a 300 kilómetros de ancho, destinados a redes de relleno, medidas con menor precisión y por tanto de inferior costo.

Las redes en forma de polígono no serían, pues, de ventaja alguna para un país de forma alargada y angosta como el nuestro, por cuanto la red de relleno vendría a tener sólo un lado de primer orden de amplitud.

Las grandes cadenas de triángulos se han empleado especialmente para las medidas de arcos de meridiano o paralelo, con fines de geodesia superior, requiriéndose para las mediciones angulares de una cadena de triángulos simples o de una red en polígono, mucho mayor exactitud que para las redes continuas.

Entre los mayores arcos medidos tenemos el que en Europa se extiende a lo largo del paralelo 52° con 4730 kilómetros de extensión y el norteamericano, en el

(1) The transcontinental triangulation and the American Arc of the Parallel.—Washington, 1900.

(2) Podrán consultarse numerosos detalles sobre este tema en la obra «Instrucciones para el reconocimiento trigonométrico destinado a ubicar las triangulaciones o bases geodésicas», publicado por la Oficina de Mensura de Tierras, 1907.

paralelo 39°, con 4224 kilómetros. Actualmente se trabaja en un arco de meridiano, que a partir del Cabo de Buena Esperanza, se extenderá con 7200 kilómetros hasta Alejandria.

En cuanto a los trabajos de esta especie en América, tiene especial interés el gran arco de meridiano proyectado uniendo los trabajos geodésicos de Estados Unidos a los de México y éstos con los que se ejecutan en Sud América. La unión de todos estos trabajos dará un arco cuya amplitud se estima alcanzará de 125° a 140° superando entonces al gran arco africano.

Sobre la cooperación que podrá corresponder a Chile y a la Argentina en la mensura del gran arco de meridiano citado, el mayor posible sobre la Tierra, es de confiar que el porvenir proporcione la ocasión a ambos países de prestigiarse ante los círculos científicos europeos. (1)

Las operaciones geodésicas comprenden el reconocimiento, construcción de señales y pilares, mediciones angulares y de bases.

El reconocimiento trigonométrico, destinado a la selección de los vértices que unidos entre sí constituirán las redes geodésicas, cuyas mallas forman el esqueleto del trabajo, y a la ubicación de las bases, cuya medida proporcionará las dimensiones lineales de la red, comprende una serie de investigaciones y operaciones preliminares que deben encomendarse a personas experimentadas, o que poseen el don del fácil dominio del terreno y sus dificultades.

Un operador muy experimentado en esta clase de estudios, el ingeniero Erfurt, dice que «el reconocimiento es un trabajo muy fatigoso, de mucho tiempo y excitante, que reclama grandes exigencias de la resistencia física y moral.

En efecto, el geodesta ocupado en trabajos de reconocimiento, teniendo que investigar todas las soluciones posibles hasta proyectar una red que equivalga a la mejor solución del problema cuyo estudio se le ha encomendado, necesita movilizarse con actividad especialmente allí donde no exista cartografía anterior, siquiera medianamente buena y digna de confianza para llegar al resultado, cual es el proyecto de red geodésica general con sus redes de base.

El reconocimiento de las redes inferiores se lleva a cabo con la plancheta, sobre el tablero de la cual se ha colocado la serie de vértices de orden superior a los cuales es necesario ligar el trabajo, a más del trazado de los márgenes de las hojas de la futura carta, para poder elegir convenientemente la ubicación de los vértices en forma de que a cada hoja de la carta corresponda el número de ellos que se estima necesario y con una distribución apropiada.

Además, a cada vértice geodésico debe corresponder una reseña de reconocimiento, en la cual se anotan todos los datos de ubicación, acceso, materiales de construcción etc. de la señal que al punto se refieren.

1) Greve.—Rapport sur les travaux geodesiques au Chili, publicado en las Actas de la Asociación Geodésica Internacional, 1913.—Contiene datos muy interesantes sobre el arco de meridiano Chileno-Argentino.

Para los vértices de primero y segundo orden se exige, ya sea un pilar de albañilería de piedra o una pirámide robusta de madera, en forma de que haya garantía absoluta de estabilidad, al menos en lo referente a la parte exterior durante el tiempo que requieran las mediciones angulares, pero la demarcación subterránea debe ser absolutamente estable.

Los pilares destinados a recibir el universal geodésico con el cual se hacen las mediciones, demarcan y perpetúan al mismo tiempo el vértice, teniendo para ello una serie de marcas a distintas alturas, pero todas sobre una misma vertical, fuera de los testigos o referencias alejadas del vértice, que se colocan como garantía, para que en caso de que el pilar mismo fuera destruido hasta sus cimientos, la posición del punto pueda ser reconstituida con exactitud.

En los terrenos boscosos es necesario generalmente elevar el punto de estación del instrumento, y no son raros los casos en que ha sido necesario llegar a grandes alturas, cincuenta y más metros para la cúspide de la señal y treinta a treinta y cinco para el instrumento. Aun en casos especiales, como en los trabajos de triangulación del paralelo 39° en los Estados Unidos, se ha llegado al máximo de 46 metros de altura para el punto de estación y 84 metros para la cúspide de la señal.

Como punto de mira en las grandes triangulaciones se emplean, ya sea señales elevadas o los heliotropos y colimadores, según las circunstancias.

El heliotropo, instrumento ideado en 1821 por el astrónomo Gauss, es hoy día uno de los dispositivos más empleados, pero en la forma modificada por Bertram. Este modelo consiste en un pequeño espejo perforado, el cual, en combinación con una pinula, permite dirigir los rayos solares hacia el observador que maneja el instrumento y aún a grandes distancias que superan a cien kilómetros cuando se trabaja en cerros elevados y con atmósfera clara.

Para los grandes triángulos, como los que constituyen la triangulación norte americana en las montañas Rocallosas, el heliotropo ha tomado dimensiones extraordinarias y aún ha debido reemplazarse por señales luminosas artificiales, como en el caso de la unión geodésica de España y Argelia, en donde el heliotropo no dió resultado.

Hoy día se constituyen heliotropos con adopción de linternas de acetileno, para los triángulos de dimensión media y grandes colimadores en el caso de dimensiones extraordinarias. Entre éstos podrían citarse por ejemplo los modelos Lepaute y Faini. En Estados Unidos se emplean, desde 1902, linternas de acetileno para trabajos nocturnos, con éxito, hasta 50 kilómetros de distancia.

En la unión geodésica de las islas de Malta y Sicilia al continente se empleó el colimador Lepauti, con luz oxí acetileno, el cual pudo verse siempre a simple vista hasta una distancia de 123 kilómetros. El proyector Faini es visible a 193 kilómetros a ojo desnudo, y con anteojo de 25 diámetros de aumento se le puede ver a 286 kilómetros.

Tiene, pues, hoy la ciencia a su disposición poderosos medios de trabajo, que

a la época de las primeras triangulaciones no había base siquiera para imaginar.

En las mediciones angulares modernas se emplean universales geodésicos provistos de microscopios y cuya lectura directa sobre los tambores de estos instrumentos por artistas especialistas en mecánica de precisión y debido al progreso siempre creciente del ramo, ha podido ser reducido considerablemente al tamaño primitivo de los instrumentos, haciéndolos más transportables. Así, los primeros instrumentos empleados en las triangulaciones de India e Inglaterra tenían el limbo horizontal de noventa y un centímetros de diámetro y hoy día el tamaño más frecuente de universal geodésico empleado en triangulación primaria tiene sólo veintisiete centímetros para dicha dimensión.

Los errores que afectan a las mediciones angulares no sólo provienen de las graduaciones, puntería y lectura, sino también de la falta de ajuste imperfectamente eliminada, de errores de excentricidad y de los ejes, de flexiones de las piezas de los instrumentos, de errores periódicos y accidentales de los tornillos, de la falta de ajuste de los microscopios, etc. El geodesta debe combinar juiciosamente sus mediciones en forma a eliminar la influencia de estos errores instrumentales, escogiendo además los momentos más apropiados para las observaciones, o sea, las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, para la medida de los ángulos azimutales, y las cercanas al mediodía para las mensuras cenitales, a causa de ser en la mañana y tarde las imágenes más tranquilas y en vista que la refracción pasa por el minimum de su influencia a la hora del mediodía o sus cercanías.

Durante muchos años las mediciones angulares se ejecutaron por medio de la repetición, método propuesto por Tobias Mayer en 1752 y aplicado por Borda tres años más tarde. Hoy día se prefiere la medición por series, propuesta por Gauss en 1822 y aplicada con tanto éxito por Bessel y Struve, o bien la medida por ángulos en todas las combinaciones de las direcciones, de dos en dos.

Con el empleo de la reiteración para las mediciones angulares, midiendo por series de direcciones, se consigue eliminar en gran parte la influencia de los errores de graduación, para lo cual se emplea el desplazamiento simétrico del origen de la graduación con respecto a la dirección aceptada como inicial, dependiendo el número de posiciones de la exactitud de la graduación.

Sin embargo, aunque el sistema de mediciones por reiteración en series parece tan sencillo a primera vista, las condiciones climatéricas pueden afectarlo en alto grado, hasta el punto de que la simple medida por ángulos en todas las combinaciones de direcciones de dos en dos, resulta más económica. Schreiber, jefe que fué de la oficina prusiana de levantamiento, ha encontrado que, para la triangulación de primer orden, el trabajo de punterías y lecturas que se hace en el terreno en cinco a seis meses, podrá realizarse en treinta horas de trabajo continuo, si la bondad de las imágenes no fuera perturbada por las condiciones meteorológicas. En comprobación de esta afirmación cita el caso de haberse hecho 11 108 punterías en sólo 39 estaciones primarias.

Como consecuencia de las dificultades expuestas, nació en Alemania el sistema de medición por combinaciones binarias de direcciones, o sea, el llamado método de Schreiber, por su autor, sistema que, aunque teóricamente más largo que la reiteración por series, resulta más económico y preciso en la práctica, trabajándose bajo un programa fijado de antemano, para la realización del cual la exigencia de visibilidad o bondad de imágenes se refiere siempre sólo a dos direcciones, las de la combinación binaria en que se opera.

Respecto a este sistema de medición por ángulos en todas las combinaciones y en diversas partes del círculo reiterador, dice Bassot, jefe de la oficina francesa, al compararlo con la reiteración adoptada en Francia en 1867 y refiriéndose a la última: «Este método es perfecto en los países como Argelia y el mediodía de Francia donde el tiempo es en general claro y descubierto y donde se puede hacer, por lo tanto, casi siempre series completas. Pero en los países brumosos del norte y del este, estas condiciones no se llenan ya, y sucede entonces que los ángulos formados por dos direcciones, son deducidos de observaciones hechas sobre cada una de ellas en series en donde no entra la dirección conjugada. Las ventajas del método de observación por giros de horizonte desaparecen y se presta, al contrario a críticas justificadas».

Este es el motivo por qué en 1900 se reemplazó en Francia para los trabajos de la parte Norte del país, el método de giros que se aplicaba, como el de ángulos como se emplea en Prusia.

De las experiencias de Schreiber llevaron a la conclusión que para una serie de instrumentos de los mejores fabricantes alemanes, poco más de la mitad del error medio que afectaba a una dirección observada, correspondía a los errores accidentales de graduación. Hoy día se acepta, con Reinbertz, que un teodolito reiterador proporciona próximamente la misma precisión que uno repetidor de doble diámetro.

Entre los perfeccionamientos de los instrumentos geodésicos y astronómicos que han hecho época, se tiene la introducción del micrómetro en el antejo, por Gascoigne en 1640, en el cual se sustituyó en 1755 el desgado hilo de plata que se empleaba hasta entonces por el retículo de tela de araña. El nonio inventado por Núñez no tuvo suficiente aceptación y el que hoy se emplea en los instrumentos pequeños es el modelo ideado por Vernier en 1631, que se reemplaza en los instrumentos geodésicos por el microscopio micrométrico, muy superior en precisión.

* * *

Sería completamente inútil gastar paciencia y trabajo en la medición prolija de los ángulos si no se procediera en igual forma en la medición de las bases, otro de los elementos principales de los trabajos geodésicos de primer orden.

Se requiere la medida de una o más bases, según sea la extensión del trabajo, para calcular el valor lineal de los lados de la red geodésica. En todo caso será

conveniente intercalar a lo menos dos bases con el objeto de obtener un control.

La dimensión más corriente para las bases geodésicas es la de 5 a 8 kilómetros y para su medida es costumbre dividir las en secciones. Era frecuente al principio mensurar grandes bases, a pesar de las dificultades inherentes a una operación de esta clase; más tarde se modificó el criterio a este respecto en vista de que con la base medida por Madrideojos en 1858 en España se dejó establecido que una base pequeña, bien medida y convenientemente ampliada, podía proporcionar resultados equivalentes a una de mayores dimensiones. Ya en 1819 la medida de una pequeña base por el profesor Swerd había llamado la atención en Alemania. .

Trabajos cuidadosos de Ferreo llevaron más tarde a la conclusión que la simple red de ampliación de una base reducía la precisión a la quinta parte, con lo cual quedaba establecida la necesidad de obtener una buena configuración de dicha red de ampliación y aumentar el largo de la base misma, con el objeto de disminuir el número de triángulos empleados en el desarrollo. Aun se expuso la idea de la conveniencia de medir directamente un lado de la red, lo que pudo realizarse sólo con la introducción de las medidas rápidas por medio de alambres y terrenos especialmente favorables, como en el caso de los trabajos modernos en Sud Africa.

Pizzetti, (1) afamado geodesta y profesor italiano, ha expuesto un resumen de la historia de este delicado problema en la forma siguiente: «Se había establecido la opinión entre los geodestas, en tiempos no lejanos, que los lados directamente medidos de las redes geodésicas deberían ser muy pequeños. Las bases de diez kilómetros eran consideradas como de longitud exoesiva; se pensaba, no sin cierta razón, por otra parte, que el aumentar más allá de ciertos límites la longitud, multiplicase, fuera de la fatiga y del costo, también las causas de error, y que convenia dedicar gastos y trabajos a medir, con cuanta más precisión fuese posible, pocos kilómetros de base y deducir de estos los lados ordinarios de la red, mediante una serie de triángulos con lados crecientes (red de ampliación) de los cuales los ángulos fuesen medidos con particular precisión».

«La experiencia ha modificado ahora un tanto la opinión de los geodestas. La discusión de los errores medios de las principales redes de Europa pone en evidencia esta red de ampliación como el punto débil en las triangulaciones».

La medida de bases por medio de reglas geodésicas es una operación tan delicada como costosa. Se requiere para una operación de esta especie un numeroso personal el cual encuentra dificultades graves entre otras en la determinación de la verdadera temperatura de las reglas. Puede considerarse que cada país tiene su aparato para medida de bases especial, habiendo algunos que han hecho uso de varios distintos. Perrier tiene razón al decir «Tantos países, tantos sistemas, podría decirse y por consiguiente tantos grados de precisión». (2)

(1) Pizzetti. *Rivista di Topografia e Catastro.*—1904.

(2) Perrier.—*Rapport sur les mesures de bases.*—1888.

El largo primitivo de los aparatos de bases era generalmente de dos toesas, o sea, cercano en cuatro metros. Actualmente se llega al máximo de cinco metros de longitud en Estados Unidos y en el Japón.

Las reglas pueden ser monometálicas, como la de fierro, empleado en Austria y la de España o bien la regla en hielo fundente usada en Estados Unidos, o también bimetálicas, sistema del cual hay numerosos modelos, a saber, entre otros: Brunner platino y bronce, Colby (fierro y cobre), Schott (acero y zinc), Porro (fierro y bronce), Bessel (fierro y zinc) etc.

El platino iridiado que se emplea en las reglas prototipos o en los aparatos de medida de bases, ha duplicado de precios en los últimos años; pero felizmente, nuevas aleaciones de acero y níquel han entrado a competir con él.

Con la publicación de los trabajos y estudios de Jaederin, referentes a la medida de bases con hilos y cintas metálicas, se desarrolló el interés por esta clase de medidas rápidas. En efecto, había por ello sobrado motivo, pues en las medidas comparativas con el aparato de Struve empleado en Rusia, que sólo permitía la medida de 140 a 160 metros por hora, con el método de Jaederin se consiguió medir hasta 550 metros en igual lapso de tiempo, quedando demostrada su precisión en la medida de dos bases rusas. (1)

El primitivo aparato de Jaederin era en realidad un aparato bimetálico en el cual las reglas cortas han sido reemplazadas por alambres de 20 a 25 metros de largo, uno de ellos de acero y el otro de bronce, ambos níquelados y encontrándose por lo tanto en igualdad de condiciones en cuanto a las influencias exteriores. Estos alambres llevan regletas en sus extremos, con sus respectivas escalas, y se les somete, al tiempo de medir, a una tensión de diez kilogramos por medio de dinamómetros apropiados y con el auxilio de una serie de tripodes provistos de marcas especiales. En realidad, con el primitivo aparato de Jaederin, la medida se hacía por duplicado, con el alambre de acero y con el de bronce. Conocidos los coeficientes de dilatación de los alambres empleados, se deducían fácilmente los coeficientes que debían introducirse en los cálculos para determinar el largo de los tramos entre dos marcas sucesivas de los tripodes.

Los detenidos estudios de Guillaume (2) subdirector de la oficina internacional de pesos y medidas, lo llevaron al descubrimiento de las interesantes propiedades de las aleaciones de acero y níquel, imponiéndose luego la adopción de estas aleaciones en la técnica. Guillaume encontró una aleación de acero y níquel, cuyo coeficiente de dilatación se encuentra vecino al del platino. Después de una serie de experiencias y comprobaciones, se llegó a obtener alambres, que pasados por la hilera y por lo tanto fuertemente estirados, eran suficientemente estables

(1) Mesures des bases de Moloskovitzi et de Poulkovo exécutées en 1884 avec l'appareil de Jaederin por A. Bousdorff, Helsingfors, 1892.

(2) Guillaume, - Les applications des aciers au nickel, avec un appendice sur la théorie des aciers au nickel. - París, 1904.

en su largo, con lo cual quedó ya resuelto el problema de la medida rápida de bases geodésicas, reemplazando entonces los dos alambres de acero y bronce níquelados de Jaederin, por uno sólo de acero níquel al 36%, aleación que ha recibido el nombre de «invar» a causa de su escasa variación por las diferencias de temperatura.

El acero níquel no sufre con el aire húmedo ni con el agua fría; admite pulido, se puede laminar y pasar por la hilera. En la medida de bases se emplea en forma de alambres de 1.6 milímetros de diámetro. El precio, por fin, es sólo una pequeña fracción del correspondiente al platino aproximadamente de 1 a 500.

Son ya numerosas las medidas de bases efectuadas con alambres de invar. En nuestro país tenemos las de Pintados, Chacayal y Paciencia, medidas en esa forma por la Sección Geodésica de la ex-Oficina de Mensura de Tierras.

En los Estados Unidos de América se ha desarrollado en gran escala la medida de bases geodésicas por medio de largas cintas de acero, en sustitución de los alambres, tomando la precaución de efectuar la mensura de noche o en días nublados. Ultimamente se ha adoptado también para dichas cintas la aleación de acero y níquel, con resultados muy buenos en cuanto a precisión. (1)

Como complemento indispensable para todo levantamiento geodésico de primer orden, se necesita efectuar una nivelación de precisión para poder determinar por medio del cálculo la reducción de las bases medidas al nivel del mar. Con este objeto se unen los extremos de una base geodésica a un punto en donde se haya determinado el nivel medio del mar por medio de nivelaciones debidamente comprobadas sin perjuicio de las nivelaciones que se ejecutan a lo largo de la base misma cuando la inclinación del longuómetro no es dada por el aparato mismo.

Esta nivelación de precisión sirve de base a la altimetría, como la triangulación geodésica a la planimetría. Ella se lleva a cabo con niveles y miras de construcción delicada, en diversas formas, según sean los servicios encargados de ella, o las características de los instrumentos empleados.

La Asociación Geodésica Internacional ha fijado el error medio máximo de tres milímetros por kilómetro para la nivelación de precisión, y en la última conferencia, celebrada en Hamburgo en 1912, se acordó crear una categoría de nivelación de alta precisión, para la cual se estableció mayor exigencia aún.

Las determinaciones del nivel medio del mar se llevan a cabo por medio de mareógrafos que requieren un largo período de observación para publicar sus indicaciones como promedios anuales. Tratándose de observaciones de mareas sólo en vista de la determinación del nivel medio del mar, se emplean mareógrafos cuyo tambor efectúa una rotación en siete días, puesto que en este caso no se

(1) Baldwin.—On the measurement of zinc bases along de ninety-eight meridian. — Coast and Geodetic Survey.—Washington, 1902.

requiere gran precisión en las horas que corresponden a las mareas, sino más bien en los valores de las ordenadas correspondientes a las alturas del agua.

En nuestro país se han efectuado determinaciones del nivel medio del mar, por medio de mareógrafos modelos Seibt-Tuess, en los puertos de Iquique y Antofagasta, empleándose simples medimareómetros tipo Lallemand, en Arica, Pisagua, Tocopilla y Talcahuano.

*
**

Por muy prolijos que sean los trabajos que se hagan para la triangulación de primer orden y aún después de depurados todos los valores angulares y lineales medidos de las influencias extrañas que tienden a falsearlos, como ser errores instrumentales etc., se encuentran al comparar los valores obtenidos en la medida de la red con las condiciones geométricas inherentes a las figuras, una serie de contradicciones o discrepancias, tanto más pequeñas mientras mejor sean las mediciones. Estos desacuerdos tienen su origen en los errores inevitables de observación, ya dependientes del observador, de los instrumentos o medios empleados o por fin de las condiciones atmosféricas. El conjunto de las operaciones de cálculo que tienden a hacer desaparecer los citados desacuerdos, o mejor dicho, falta de cumplimiento riguroso de las condiciones geométricas, constituye la compensación de la red, que se lleva por grados o escalones hasta las triangulaciones inferiores.

No sólo se exige en una red de triángulos que la suma de los tres ángulos de uno de ellos menos el exceso esférico dé exactamente 180° , sino también que los ángulos medidos alrededor de una estación sumados igualen a 360° ; que las direcciones de diversos vértices y uno de ellos concurren en un mismo punto exactamente; que para una diagonal calculada para dos caminos diversos resulte exactamente el mismo valor, etc., sino también que se ejecuten todas las reducciones necesarias para que los valores finales se refieran a una red proyectada sobre el esferoide terrestre adoptado y debidamente orientada astronómicamente.

Se acostumbra a efectuar la compensación local de las estaciones y después la compensación general; se compensa también por separado las redes de base. Sin embargo, hay casos, como por ejemplo en Sajonia y Estados Unidos, en que a veces se ha preferido hacer la compensación en conjunto, pero ello constituye la excepción.

Con el objeto de uniformar la comparación de los resultados representativos de la precisión, la Asociación Geodésica Internacional, en su conferencia de Niza, adoptó una fórmula para calcular el error medio de un ángulo por el cierre de los triángulos, conocida generalmente bajo el nombre de «fórmula internacional».

*
*
*

La Oficina de Mensura de Tierras primero, y después la Oficina del Plano Topográfico han adoptado, en los trabajos que han ejecutado hasta la fecha, todas las prescripciones que sobre trabajos geodésicos ha adoptado la Asociación Geodésica Internacional, y que me he permitido enumerar brevemente.

La labor realizada por estas Oficinas puede por lo tanto figurar sin desmedro al lado de Francia, Estados Unidos, Alemania, etc., porque en esos países no se exige mayor precisión que la adoptada en el nuestro.

Termino haciendo votos porque la obra iniciada de un levantamiento científico de nuestro país, encuentre entre los profesionales y especialmente entre los miembros de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas un decidido apoyo para que pueda desarrollarse en una forma digna de un país culto.