

Los trabajos topográficos i jeodésicos de la Oficina de la Carta del Estado Mayor Jeneral

POR

ERNESTO GREVE

(Crítica de las conferencias dadas en el Instituto de Ingenieros por los señores Obrecht i Deinert)

(Continuacion)

Los valores en cursivas son los *olvidados* por el conferencista.

Jordan ha tomado estos datos de las Actas de la Asociacion Jeodésica Internacional i se refieren a las redes consideradas en conjunto para cada pais u oficina.

En la nueva edicion (*Jordan—Reinhertz—Handbuch der Vermessungskunde I—Stuttgart*, 1904, páj. 490) encontrará el lector 33 valores del error medio de un ángulo para las diversas redes prusianas, consideradas hoi dia como lo mejor en trabajos jeodésicos, las que se refieren a los últimos años, cuadro publicado en la revista alemana de jeodesia.

Delos 33 valores del cuadro tenemos solo *dos* inferiores a $\pm 0,30''$, calculado este dato por medio de la fórmula internacional de la Conferencia de Niza, i estos dos únicos valores se refieren a la «*Red del Bajo Rhin*» i al enlace con Francia, este último de solo tres triángulos.

La opinion del señor Consultor Técnico sobre la precision que debe tener un trabajo jeodésico, se encuentra claramente espresada en una nota que reprodujo la prensa («El Mercurio», 3 de Agosto, 1907) i en la cual se afirma lo siguiente al referirse al error: «*Sin embargo, del exámen de los datos que se encuentran en los registros de la seccion trigonométrica del E. M. J. resulta que este error alcanza dos o tres segun-*

El señor Deinert dice («Conferencias», páj. 22) que el señor Obrecht se refería en su crítica a los trabajos ANTERIORES A 1901, en lo que no fué contradicho en la ocasion citada. Esto es *enteramente inexacto*, puesto que el señor Obrecht («El Mercurio», 17 de Julio, 1907, o sea *antes* que la nota 3 de Agosto, 1907) dice: «*la segunda parte del trabajo—el de la RED CENTRAL*» etc., i el señor Deinert («Conferencias», páj. 13): «*En 1901 comienza un nuevo trabajo, una triangulacion que se ha terminado ahora último*. (La conferencia es del 24 de Mayo 1909, i en el anexo se lee: «*Gran Red Central*»).

Se deduce, pues, que el señor Consultor Técnico rechaza toda red en la cual el error medio de un ángulo resulte superior a $\pm 0,30''$, o sea, que en un informe oficial se derriba los 6848 triángulos europeos que constituyen las redes a que se refieren los cuadros de Jordan i, de las redes parciales de Prusia, [no queda sino el enlace con Francia, sin importancia para este caso, pues se trata de tres triángulos, i la «Red del Bajo Rhin».

Ademas, como Java, Sumatra, Japon, Estados Unidos, etc., no han alcanzado la precision exigida por el señor Consultor Técnico, resultaria la verdadera *débacle jeodésica*.

La especial deferencia a que estamos obligados ante nuestro distinguido profesor, señor Obrecht, nos silencia todo comentario i nos induce a buscar en nuestra biblioteca la estadística de los errores de cierre de la citada triangulacion, que ha escapado felizmente al rigorismo, copiándolos a continuacion:

2 triángulos	> 1"
8 »	0,5" a 1,0"
13 »	0,25" a 0,5"
16 »	0,0" a 0,25"

(Asociacion Jeodésica—Conferencia 1895.—Anexo B XI.)

Como se ve por el cuadro anterior, son rigorosas en extremo las condiciones de cierre de los triángulos para alcanzar el error medio de $\pm 0,27''$ de la «Red del Bajo Rhin» i no podemos ocultar nuestra estrañeza de que el distinguido profesor las exija imperiosamente para nuestro pais, que bien podría aceptar el obsequio de unos quinientos triángulos de los numerosos despreciados, al ménos para celebrar el centenario.

¡I estas afirmaciones se hacen en informes oficiales!

Queda, pues, en claro que, a pesar de todas las declaraciones que han emanado de la Oficina de la Carta, nada concreto, que no sea una desorientacion de las condiciones exigibles en jeodesia práctica, puede deducirse i es preciso esperar algo mas todavía que los diecisiete años transcurridos. Sin embargo, existe otra nota del señor

que, aunque no disipa suficientemente la bruma que cubre los trabajos de la Oficina de la Carta, precisa al ménos la red i las cifras.

En efecto, el señor Obrecht dice al Jefe de Estado Mayor: «*He tenido la satisfaccion de constatar que la segunda parte del trabajo—el de la red central—tiene una exactitud mayor que la de la red de Melipilla, pues el error medio de cierre de los triángulos es de 4,5", en lugar de 11" en la última. En consecuencia, SE PUEDE ESTIMAR EN 2 A 3 SEGUNDOS EL ERROR MEDIO DE LAS DIRECCIONES*»,

«*Aunque esta precision es inferior a la que se exige hoi en jeodesia, ella es mui suficiente, sin embargo, para la correcta ejecucion de un mapa a grande escala*».

En la nota del señor Consultor Técnico, publicada en «El Mercurio» del 3 de Agosto de 1907, despues de esponer que la precision es suficiente para el levantamiento topográfico de la carta se dice: «**PERO MUI INFERIOR A LO QUE EN LA ACTUALIDAD SE OBTIENE EN LOS DEMAS PAISES**».

Parece, sin embargo, que de Agosto de 1907 a Mayo de 1909, el señor Consultor Técnico ha cambiado enteramente de opinion, pues en «Conferencias», página 4, se dice «*que este trabajo PUEDE COMPETIR CON LOS MEJORES DE OTROS PAISES*», i en la página 7, que «*dejando a un lado, por ahora, el punto de vista puramente teórico de la jeodesia, creo que los datos apuntados bastan para que los hombres de buena fé consideren que el mapa del E. M. J. PUEDE COMPETIR con los mejores mapas de otros países*».

Sin embargo, con la mejor buena fé i franqueza, declaramos, por nuestra parte, que una triangulacion no es una carta i que no comprendemos como lo INFERIOR en 1907 pueda COMPETIR en 1909.

Ahora, si el señor Obrecht fija en *dos a tres segundos* el error medio de una direccion de la Red Central, se tendrá que multiplicar por la raiz de dos para obtener el error medio de un ángulo, luego $\pm 2.8''$ a $\pm 4.2''$, con lo cual nuestro país, a pesar de que el Estado Mayor ha hecho tres ensayos, no podria presentarse al torneo internacional con la frente levantada; i puede convencerse el lector de ello, examinando el cuadro de los errores medios. Sin embargo, en 1906, delante del señor Ministro de Guerra, se afirmaba que el error medio obtenido era $\pm 0.40''$!

Pero el distinguido profesor solo espone datos respecto a la triangulacion de primer orden, no da gran cosa sobre órdenes inferiores i ni cita el fundamento de la hipsometría, ni el número de cotas o densidad de puntos trigonométricos, etc., datos enteramente indispensables en una comparacion entre la cartografía militar chilena i la extranjera, hecha con la debida prolijidad i basada en estudio suficiente de los antecedentes.

El error medio dado por Jordan (tomo I—1895) para un ángulo, deducido de las triangulaciones europeas, es poco mayor que un segundo, pero intervienen en esta deducccion trabajos de oríjen i época mui diversas. Sin embargo, un segundo es el valor que se adopta hoi como mas o ménos normal, pero incluyendo trabajos antiguos i modernos, e incluso los que se han hecho en Chile, como el de la triangulacion de 1890, que se adopta como base para la carta de 1907.

Técnicamente es difícil llegar a un resultado medianamente fidedigno, pues es preciso establecer, como condicion preliminar, una cierta forma de red al lado de un tal error medio.

Si suponemos una red de triángulos equiláteros, el error de un segundo produciría $\pm 0,000004$ para el primer lado i, si se exige el límite de uno en cien mil, tendremos, con n , como número de triángulos:

$$\pm 0,000004 \sqrt{n} = \pm 0,00001$$

de donde $n=6$, lo que, a pesar de tratarse de la red ideal equilátera, no da sino poco mas de la mitad del número de triángulos que, jeneralmente i en promedio, hai entre dos bases.

El distinguido profesor ha manifestado que el cierre de la red no es bastante por sí solo i apela a las observaciones astronómicas para alcanzar lo que aquel no le proporciona.

Por nuestra parte al cierre de ocho metros en el polígono, que probablemente se irá mejorando por aproximacion sucesiva, no le damos importancia alguna, puesto que ya en el vértice «Renca», el *primero* del camino que ha seguido el señor Consultor Técnico en su cálculo, hai un desacuerdo mucho mayor entre la diferencia de las coordenadas jeográficas dadas para los vértices «Observatorio» i «Renca» por el señor Medina, en el Congreso Científico, i por el señor Obrecht en el Instituto de Ingenieros.

Si ya en el primer vértice resulta un desacuerdo de mas o menos *trece metros* entre los datos publicados en dos ocasiones por la misma oficina, es evidente que estos deberán cambiar, pues ámbos no pueden ser exactos a la vez i el residuo que dejan todas estas variables afirmaciones, lanzadas sin detalle comprobatorio, no es sino la natural desconfianza de aquellas personas que algun interes tienen en lo que se refiere al levantamiento nacional, pues no se da siquiera indicacion sobre el valor del lado de partida para saber si éste ha sido o nó reducido al nivel del mar.

I, sin embargo, se duda de la buena fé de los que no aceptamos esta pluralidad de valores para un mismo vértice i los diversos futuros con que se irá mejorando el cierre ¿Cuáles son las verdaderas coordenadas del vértice Renca? Eso lo dirá el tiempo, pero mientras tanto allí queda el desacuerdo inesplicado.

Pero ahora es necesario tambien dejar a un lado, por segunda o tercera vez, el fin «*puramente teórico*» de la jeodesia i considerar esta nueva tentativa solo bajo su aspecto práctico—como si los trabajos en el terreno no lo fuesen—i nuestro pais, por el hecho de pertenecer a la Asociacion Jeodésica Internacional, no tuviese ningun compromiso a que atender, ni fuese un fin laudable el contribuir a la mensura de la Tierra.

¿Se considera honroso para el pais el que el gran arco del meridiano, proyectado

de la República, por falta de precision en la triangulación i deficiencia en las observaciones astronómicas? ¿Se prefiere que mas tarde venga a remensurarlo una comision extranjera?

Nos habria estrañado profundamente oir, en aquella conferencia, a la misma persona que manifestaba en 1889 (16) respecto a la medida de un arco de meridiano que *«seria un honor para Chile seguir la medida de este arco en el interior del pais»* espresar ahora, como lo hizo el distinguido profesor, la necesidad de dejar a un lado el aspecto científico de los trabajos en tela de juicio.

De tanto mas estrañeza era digno este asunto cuanto, en 1903, el señor jefe de la Oficina de la Carta estimaba que *«las nuevas mediciones, respondiendo a todas las exigencias científicas, de un trabajo de primer orden, responden a la idea lanzada por el doctor Helmert en la XIII conferencia de la Asociacion Internacional de Jeodesia, de medir el arco de meridiano mas grande que se puede medir en la Tierra»...* (17).

Por su parte, el señor Medina, a cargo de los trabajos en el terreno, durante la ausencia del señor Deinert, decia, en el último congreso científico (18), que al nuevo trabajo del Estado Mayor *«no solo correspondia satisfacer exigencias militares i civiles del pais, sino tambien debia constituir referencias útiles para la ciencia; con tal objeto se los encuadró en las prescripciones fijadas por la Asociacion Jeodésica Internacional a fin de ser aprovechados por la mencionada institucion en la solucion de los problemas que se refieren a la forma de la Tierra».*

¿Qué es lo que se persigue con todas estas declaraciones si ahora el señor Consultor Técnico no desea considerar los trabajos bajo su carácter científico? ¡Simples voladores de luces! Un rato de satisfaccion i despues cae la varilla sobre la cabeza de aquellos que los lanzaron.

Estamos ya convencidos de que no solo son nuestros hombres dirigentes los que no atribuyen suficiente importancia al prestigio científico del pais en el extranjero, sino tambien ahora se han contagiado hasta los mismos representantes de la ciencia, pues, cuando ya se creia que la «Gran Cadena Central» llegase a ser un lazo de union entre la adulta jeodesia europea i la jóven jeodesia nacional, se la declara un nuevo fracaso en este sentido.

Aún queda una esperanza: el propio autor del trabajo no acepta las condiciones ni los métodos empleados por el señor Consultor Técnico en el cálculo del error de cierre de la red. En efecto, en «El Mercurio» del 9 de Agosto de 1907, podrá el lector imponerse de la opinion del señor Jefe de la Oficina de la Carta i de donde copiamos los párrafos siguientes:

(16) *Memoria sobre el estado actual del Observatorio Nacional de Santiago, i proyecto de reorganizacion*, por ALBERTO OBRECHT, páj. 11, Santiago de Chile 1890.

(17) *La Red de Melipilla*, por FÉLIX DEINERT, páj. 16, Santiago de Chile, 1903.

(18) *Monografía de la Carta Militar de Chile*, por ERNESTO MEDINA, páj. 4, Santiago de Chile,

«Carece en absoluto de importancia la declaracion del señor Consultor Técnico hecha en su nota anterior respecto del polígono, el cual, segun sus cálculos «cierra casi, exactamente, habiendo una diferencia de solo ocho metros».

Decia, ademas, que el aserto del señor Obrecht es «anticipado i que adolece de falta de razonamientos que lo justifiquen.»

Por nuestra parte, miéntras ámbos conferencistas se ponen de acuerdo sobre este enojoso asunto del cierre del polígono, para el cálculo del cual el señor jefe de la Oficina de la Carta ha exigido (19) entre algunas objeciones mui justas, como son, por ejemplo las que se refieren a la aplicacion del método de Schreiber, a la correccion del error de curso (run) de los microscopios (20) i a la compensacion de las estaciones, otras bien estrañas, como ser la reduccion al centro de los puntos perdidos i la compensacion jeneral, sin advertir especialmente que escluye la condicion de cierre, buscaremos en nuestros registros cuál es la precision exigida para los trabajos de primer orden i, para que no se dude de nuestra buena fé, acudiremos sólo a opiniones sobre trabajos militares.

En la obra del Jeneral Bassot (*La géodésie française*, Paris, 1891), se dice, que tratándose de observaciones «buenas», la triangulacion de primer orden da «uno en cien mil» de precision.

Por su parte Kahle, en su obra «*Levantamiento Nacional i Cartas de Estado Mayor*» (*Landesaufname and Generalstabskarten*, Berlin, 1893) espresa, que el «límite de utilizacion» de un lado de primer orden es la precision de «uno en cien mil».

¿Por qué esta exigencia? ¿Cumple o nó con ella el nuevo trabajo del Estado Mayor? ¿Cómo se lo ha averiguado?

Estas son preguntas que se hará probablemente el lector i las trataremos.

¿Por qué se exige en la triangulacion de primer orden un error máximo de uno en cien mil? Es importante dejarlo en claro.

Esta precision mínima no la ha impuesto, por cierto, la teoría, que al fijar los métodos para la aplicacion de la jeodesia ha fracasado ya varias veces.

¿Qué haríamos si se nos pidiere determinar la cota de un mil de estacas colocadas en el terreno, fijándonos, por ejemplo, un error de diéz centímetros como máximo? ¿Iríamos al procedimiento de emplear los métodos mas refinados para cada una de ellas? Nó, elejiríamos un cierto número esparcidas en todo sentido i para las cuales determinaríamos la cota por procedimientos que nos asegurasen que el error

(19) Véase la nota del señor Deinert en «El Mercurio» de fecha 9 de Agosto de 1907.

(20) No estamos de acuerdo con el señor Obrecht en cuanto a una crítica que hizo hace tiempo, por nota, sobre la forma en que el señor Deinert aplicaba la correccion del error de curso de los microscopios. Este método es frecuente entre los astrónomos, como puede cerciorarse el lector en la página 68 de la obra del director del Observatorio de Lick (CAMPBELL, *The elements of Practical Astronomy*, New York, 1899) o bien: FORNI, *Nuove determinazioni della latitudine del Reale Osservatorio Astronomico di Brera*, páj. 3, Milano, 1907. Como se sabe, el director de este Observa-

no pasará, digamos, de un centímetro, i ellas serian nuestras estacas fundamentales; sobre éstas apoyaríamos trabajos progresivamente mas espeditos i ménos costosos, para llegar, por fin, a determinar todas las cotas de modo a no sobrepasar el límite de error impuesto.

Un procedimiento semejante se sigue en el levantamiento de la carta de un país. Para el topógrafo i para el agrimensor del catastro todos los puntos son iguales i éste no atribuye a sus cálculos mayor o menor peso a uno u otro punto, porque sea de primero o tercer orden salvo casos mui especiales.

Para mantener la precision exigida para los puntos inferiores, el jeodesta no va a fijar cada uno por los procedimientos mas refinados, sino que, como en el ejemplo de las estacas, aplicará dichos sistemas a un cierto número de vértices, que servirán de apoyo a una segunda serie ménos prolija i, por tanto, ménos dispendiosa, hasta que por una tercera, i a veces una cuarta, llega al orden inferior sin sobrepasar el límite impuesto para el error admisible en jeneral.

Sobre la serie de puntos proporcionados por la Seccion Jeodésica—número variable segun las exigencias de las instrucciones—se apoya no sólo el trabajo del topógrafo con su plancheta o taquímetro, sino tambien se intercalan pequeñas redes para los trabajos catastrales i, por fin, los polígonos que rematan estas últimas operaciones, o sea, el *«levantamiento numérico»*, como se le llama en las oficinas respectivas.

A mas de los trabajos espuestos, existe la exigencia de los técnicos de tener a su disposicion, en cualquier parte del país, una serie de puntos demarcados en el terreno i con una precision tal, en su posicion relativa, que puedan éstos considerarse como prácticamente perfectos ante el trabajo corriente del agrimensor. Pero, no es la medida gráfica sobre la carta la que es suficiente, sino que se desea el valor numérico de la distancia entre dos vértices elejidos, sobre los cuales se apoyan las poligonales del catastro, o ya sea, por ejemplo, para servir de base a la triangulacion de un túnel, o al estudio de un ferrocarril, datos que se toman de las *«coordenadas polares»* publicadas por la oficina, en el caso que el jeodesta haya intervisado los puntos, o se calculan por las *«coordenadas jeográficas»* o las *«rectangulares»* si no hubiese sido así.

La precision del trabajo proporcionado por la oficina del levantamiento jeneral debe ser superior a aquella obtenible por el agrimensor del catastro i por las operaciones corrientes del ingeniero. Esto se da por sentado.

Definido ya, en forma jeneral, el objeto de estos trabajos, podemos pasar a investigar cuál es el límite máximo de error impuesto por la esperiencia de otros países, si no queremos incurrir en los mismos errores en que aquellos incurrieron. Chile, en este sentido, se encuentra en condicion mui ventajosa, dado que está a su alcance el enorme material de los trabajos ejecutados en el extranjero, el mejor consejero despues de una pequeña investigacion histórica (22) sobre las causas que obli-

garon a la adopción de tal o cual sistema, i si éstos son adaptables a nuestro país dentro de un costo racional.

La exigencia de los trabajos de tercer orden es, mas o ménos, uniforme, salvo el caso de Prusia en donde es mayor, debido a causas especiales, en las cuales no entraremos aquí.

Bassot (obra citada) fija para Francia la proporción siguiente:

Triangulación de tercer orden.....	1 en	10 000
» de segundo orden.....	1 en	20 000
» de primer orden complementaria...	1 en	50 000
» de primer orden principal.....	1 en	100 000

Estos son, mas o ménos, los límites jenerales en Europa, salvo trabajos antiguos, que actualmente se rehacen.

La comisión informante sobre el nuevo catastro de Francia (23) al lado de una distancia media de cinco kilómetros entre puntos, fijó la precisión mínima de *uno en diez mil* para los puntos de tercer orden. La triangulación del mismo orden en Italia tiene tambien esa precisión (24).

No entramos a estudiar los trabajos de Prusia (25), pues, como ya espusimos en otra ocasión (26), estimamos que ellos son superiores a los recursos de nuestro país; pero será de interés el citar que el mínimo fijado para el tercer orden es de 1 en 25 000 i que los puntos distan de tres a cinco kilómetros en promedio, entre sí.

Con el fin de mantener la precisión de *uno en diez mil* para las redes inferiores, la experiencia ha fijado una escala ascendente hasta llegar a *uno en cien mil* en el primer orden. De otro modo el trabajo no puede dar *en forma económica* la precisión de *uno en diez mil* para las redes inferiores, dentro de la densidad de puntos demarcados que se exige hoy día.

Volvemos a repetirlo: esto no es cuestión de cálculos, sino de larga i costosa experiencia, que hai que aprovechar.

Nos parece que debemos encontrarnos en mas de algun punto en desacuerdo con el señor Consultor Técnico del Estado Mayor, pues él razona en forma esencialmente diversa a la nuestra.

Se comprende, que si se tratase solo de la carta militar o, mas claro, de *las hojas* del mapa militar, sin otro dato, como ser coordenadas, etc., i no se pretendiera satis-

(23) CHEYSON. *Rapport générale sur les travaux de la Sous-Commission technique*, páj. 538. Paris 1898.

(24) *L'Istituto Geografico Militare e i suoi lavori*, páj. 22. Firenze 1907.

(25) Véase la obra de VON SCHMIDT, sobre los trabajos trigonométricos de Prusia, o la de SCHULZE.

(26) *Atas do Instituto de Topographia*, 1906.

facer con esta carta las necesidades civiles, hasta el punto de haberse declarado que el trabajo debe servir de base al catastro i que las planchetas mismas son catastrales (!) se discurriera en la forma que objetamos, de tomar solo en cuenta aquellos errores apreciables gráficamente a la escala de 1 : 25 000.

Despues de privar a la red primaria, *por ahora*, de toda injerencia en cuestiones científicas, único caso en el cual pudiera considerarse ésta aisladamente, se entra, sin embargo, a declarar que el error no es apreciable al 1 : 25 000, sin estudiar si este se acrecenta o nó con las demas triangulaciones del levantamiento i que se apoyan sobre la de primer órden.

El procedimiento no es, por cierto, nuevo entre nosotros, pero si se le dedicase a la esportacion, como criterio dirijente del levantamiento nacional, mas de algun jeodesta extranjero abriria desmesuradamente los ojos al leerlo.

Este criterio se aplicó ya en la página 16 de la «Red Melipilla» i apesar de que se trataba de un error absoluto menor, repartido en cuatro planchetas, la red se rehizo en su totalidad, cargándose sobre los instrumentos toda la responsabilidad de su manejo impropiado i del defectuoso sistema de reiterar los ángulos en un trabajo primario.

Créalo el lector: no hai otro caso, por mucho que hemos buscado, de red primaria tan deficientemente medida como la de Melipilla. ¡I así ha llamado la atencion en los centros científicos europeos! Pero es el instrumento el culpable, como si él pudiera fijar el número de veces que deben reiterar los ángulos los operadores que lo manejan...

Tanto mas sorprende este incidente, cuanto que se trata del mismo ejemplar que en 1899, recién concluidos los trabajos respectivos, (27) se incluia entre los *preciosos instrumentos* adquiridos por la citada oficina i en la Memoria de Guerra, 1900, daba el señor Jefe de Estado Mayor las características del citado instrumento sin comentario alguno desfavorable.

De la conferencia del señor Consultor Técnico se deduce, lo repetimos, que él estima la precision que debe fijarse para la red primaria, solo en cuanto a lo que puede apreciarse en el papel, *desligándola enteramente* de las demas redes que sobre ella se apoyan.

El criterio citado no solo no es adaptable a declaraciones anteriores del jefe del

(27) *El Ferrocarril* del 1.º de Agosto de 1899.—«Hai que agregar que se han pagado todos los *preciosos instrumentos* de que dispone la oficina, entre otros un *instrumento universal* que el solo cuesta cinco mil pesos».

El Mercurio de 9 de Agosto de 1907.—«Durante los años 1897, 98 i 99 se ejecutó la triangulación de la red de Melipilla, trabajo que por varias causas, sobre todo por *falta de instrumentos adecuados*, no resultó tan satisfactoria como era de desear».

departamento, al decir en 1906 (28) que habia tomado en consideracion *que la triangulacion satisfaga tambien a cualquier escala mayor* sino que dándolo por aceptado, en cuanto a la apreciacion gráfica de los errores, al lado de la independencia de las triangulaciones, se dejaria llevar el jeodesta mucho mas allá, puesto que teniendo una plancheta, de la citada oficina, cuarenta centímetros en cuadro i considerando la mayor dimension posible dentro de ella i dos décimos de milímetro como apreciacion, bastaria que la red de primer orden tuviese una exactitud de *uno en tres mil*, en números redondos. (!)

En nuestra contestacion a la conferencia de 1906, i que publicamos en los Anales de 1907, nos espresábamos respecto al error medio dado para la triangulacion en el sentido de que no habia garantia que para obtener el valor del error medio no se hubiese *seleccionado los triángulos*, ya que igual tortura se hacia sufrir a los simples datos de un cuadro, como lo hemos dejado demostrado.

¿Qué nos impulsaba a la duda? En primer lugar el valor mui pequeño, difícilmente alcanzable en las condiciones en que trabajaba el Estado Mayor, o sea: sin carpa de proteccion para el instrumento i correccion defectuosa de éste, pues habíamos tenido oportunidad de ver instrumentos de esa oficina llevados al Observatorio para su reparacion (29). Ademas, sabíamos que no se graduaba la imájen del heliotropo, condicion indispensable para obtener buenas punterias.

Nuestra duda de aquel tiempo se ha visto confirmada, pues segun las cifras dadas por el señor Medina (*Monografia de la Carta Militar de Chile*, páj. 7) es indudable que aquel valor se referia únicamente a la nueva red de base, o sea, que el conferencista comparaba los triángulos de la *red de base propia*, no con las similares, sino con los de la *red jeneral* de otros países, tomando ademas el error medio de una direccion deducida de ocho mediciones de un ángulo, como unidad de peso, i comparándola con el valor correspondiente a la medida de un ángulo tal como sale con una medicion como unidad de peso. No se esplica esto de otro modo, sin acudir a salida forzada, puesto que en «Conferencias» páj. 22 se declara que el dato no está calculado, declaracion que se encuentra ademas en «Monografia» páj. 8.

El señor Consultor Técnico del Estado Mayor comunicó al jefe de esta oficina militar, segun nota publicada en «El Mercurio» del 3 de Agosto de 1907, que el valor del error dado para un ángulo (30) era en *dos a tres segundos*, segun se desprende

(28) Memorial del Estado Mayor Jeneral, 1906, páj. 134. Reimpresion del trabajo del señor Deinert, páj. 2.

(29) No debe estrañar a nadie que los oficiales del Estado Mayor no corrijan debidamente los microscopios, puesto, como ya hemos dicho, la culpa hai que buscarla mas arriba. Así, en «Tablas micrométricas» etc, publicadas por la Oficina de la Carta, el lector podrá cerciorarse de que se da las instrucciones para ajustar los microscopios justamente al revés.

(30) El señor Obrecht dice equivocadamente que el señor Deinert dió *tres* décimos de segun-

del exámen de los registros. Si esto fuera exacto, como es preciso suponerlo dada la autoridad i prestigio de la firma que lo afirma, no vâldria la molestia de seguir discutiendo esto como triangulacion de primer órden.

Con la conferencia del señor Obrecht entra a figurar un nuevo elemento.

En efecto, el distinguido profesor se espresó como sigue, despues de esponer que el error de cierre obtenido no era comprobacion de la orientacion ni arrojaba luz sobre la cuestion de la base jeodésica, tan discutida en nuestro Instituto: «*Era, por consiguiente, necesario, para dilucidar este punto, FIJAR DIRECTAMENTE, por observaciones astronómicas, la posicion jeográfica de uno de los vértices de la triangulacion o de algun otro punto auxiliar en relacion con estos vértices i comparar despues esta posicion con la que resultara de la triangulacion misma*».

Consecuente con este propósito, se elijió una estacion cerca de La Ligua i desde la cual podian visarse tres vértices de la triangulacion.

No queremos suponer, ni por un momento, que la escasez de comprobaciones, característica de los trabajos que criticamos, haya podido llevarse hasta fijar el vértice de La Ligua por *reseccion con solo tres direcciones*, o sea, *sin comprobacion alguna*, i daremos este punto por bien fijado. En él llevó a cabo el señor Consultor Técnico observaciones astronómicas con el objeto de determinar la latitud, lonjitud de la estacion i el azimut de una de las direcciones.

En el azimut observado en una sola posicion del círculo azimutal obtuvo una diferencia de *ocho décimos de segundo*; de *un segundo tres décimos* en la latitud i, por fin, *trece* en la lonjitud, entre los valores observados astronómicamente i los trasladados por la triangulacion, partiendo de ciertos valores que indica aceptados para el vértice situado en el Observatorio Nacional de Santiago (31).

En vista de las diferencias espuestas, el señor Obrecht hace la siguiente declaracion:

«*El acuerdo casi perfecto de los azimutes astronómicos indica desde luego que la orientacion jeneral de la red de triángulos es satisfactoria i la CONCORDANCIA DE LAS LATITUDES jeográficas significa que el LARGO DE LA BASE JEODÉSICA ES TAMBIEN SATISFACTORIO. En cuanto a la diferencia de trece segundos en las lonjitudes, ella puede ser debida en gran parte a una desviacion de la vertical de este a oeste*». (32).

La parte de mas gravedad en la anterior afirmacion es, sin duda alguna, la que se refiere a la *comprobacion de la lonjitud de la base valiéndose de las observaciones de latitud* i, a decir verdad, no está ella a la altura de la reputacion científica del distinguido profesor, ante quien nuestra condicion especial de alumno primeramente, i

(31) Ya el error al redondear las últimas cifras de valor de la latitud del Observatorio harian ilusoria la comprobacion dentro de uno en cien mil, asimismo la reduccion al nivel del mar parece que no se hubiese hecho i tiene tambien su influencia perniciosa.

después largo tiempo, su primer asistente, nos induce mas a la consulta de algun testo que nos pueda sacar de nuestro asombro, pues el cálculo mas elemental nos daria la razon al condenar el papel que se hace representar a las observaciones astronómicas en este caso.

Interesarán quizás al lector las opiniones de algunos jeodestas eminentes, i pasamos a ellas; después estudiaremos qué papel representan hoy dia las observaciones astronómicas en una triangulación jeodésica, los errores que afectan a aquéllas i el mérito que puede atribuirse a las que se refieren a los trabajos del Estado Mayor.

Truck (33), en su estudio sobre la compensacion de medidas de grados en Rusia, para utilizarlas en el Levantamiento Nacional, se espresa, por cierto, con bastante claridad i como sigue:

«Antes de la creacion de las medidas de grados se estaba inclinado a darle a la determinacion astronómica de puntos el significado de una comprobacion de los puntos calculados jeodésicamente, i se empleaba realmente varias estaciones astronómicas para la orientacion de las redes de triangulacion. Si no existieran perturbaciones de la vertical, cuyo valor en muchos casos supera, con frecuencia, bastante a los errores inevitables que puedan acumularse en cada triangulacion, esta disposicion seria justificada».

Los jeodestas Sterneck i Oudemans, en sus trabajos, respectivamente, sobre las triangulaciones de Austria i Java, se espresan en forma mas o menos semejante i basta, por otra parte, acudir a cualquier testo medianamente completo, para ilustrarse sobre este tema.

El eminente jeodesta aleman Jordan dice, en la página 572 de su testo (34), que se «*PARTE DE LA IDEA que la medida astronómica de las latitudes es proporcionalmente mucho mas exacta que la medida jeodésica de los arcos de meridiano*» i esto ya sin considerar la desviacion de la vertical.

Quien mejor se ha espresado en pocas palabras sobre este tema es, sin duda alguna, el eminente matemático norte-americano Woodward (35), al decir que las desviaciones de la vertical «*son la espresion numérica exacta de nuestra ignorancia en esta rama de la jeodesia.*»

Aun los testos elementales de carácter popular dan la base suficiente para condenar el procedimiento empleado por el distinguido conferencista i que lo ha llevado a su concluyente afirmacion. Así, por ejemplo, Reinhertz (36) dice al referirse a las

(33) TRUCK, *Ausgleich der russischen Gradmessungsnetze*, 1904. Al lector interesará quizás la lectura del trabajo presentado por el profesor BOERSCH al *Congreso de Matemáticos* en Heidelberg (1905). Se titula: *Die Grundlagen der Bestimmung der Ergestalt*. La página 462 es la de mayor interes.

(34) JORDAN, *Vermessungskunde III*, pag. 472, Stuttgart, 1896,

(35) WOODWARD, *The mathematical Theories of the Earth*, Washington, 1891.

(36) REINHERTZ, *Geodäsie*, pái. 167, Leipzig 1899. Tomo núm. 102 de la coleccion popular

desviaciones de la vertical i respecto a los estados que pertenecen a la «Mensura Internacional de la Tierra», o sea, la Asociacion Jeodésica, que «*en todas partes han resultado desviaciones de la vertical*», i cita el caso de dos estaciones en el Cáucaso, separadas por cien kilómetros (mas o ménos la distancia meridiana entre Santiago i Ligua; $1^{\circ}=111$ Km) en el cual las desviaciones de la vertical resultaron $-18''$ i $+36''$, o sea $54''$ entre los extremos.

Parece que el distinguido profesor ha estado siempre en la idea de que las desviaciones de la vertical son jeneralmente pequeñas i solo *escepcionalmente* de un valor notable, pues en su trabajo sobre este tema (37), dice, que «*ciertas anomalías locales* (38) *del jeoide enjendran errores de algunos segundos*» i, mas adelante, que «*esta desviacion ha alcanzado, en algunos casos, hasta unos diez segundos*».

En verdad, el aspecto de la cuestion es tal, que las desviaciones de diez segundos son *frecuentes*, presentándose valores mucho mayores, i citaremos algunos casos de sólo parte de las memorias a nuestro alcance:

Comptes rendus des séances de la Commission Permanente de l'Association Géodésique Internationale, Berlin, 1897. En página 309 hai valores de $-25''$ hasta $+54''$, entre dos puntos distantes 250 Km i suponiendo que en el punto mas central la vertical i la normal al elipsoide coincidan.

GOKE, *General report of the operations of the Survey of India*, 1900-1901, Calcuta, 1902. En página 17 podrá encontrar el lector valores superiores a $10''$, como ser: $18''$, $36''$ i $72''$.

En las actas que la Asociacion Jeodésica publica, bajo el título espresado, encontrará, por ejemplo, el lector, en el año 1895, página 269, valores de $28''$ $35''$ $35''$ en latitud, para Crimea; i respecto a esta localidad se dice en el tomo 1896 (*Anexe BXII. Russie*) que las desviaciones pasan con frecuencia de $30''$.

Tittmann (39) ha publicado interesantes datos sobre la desviacion de la vertical en Puerto Rico i espone que despues de ejecutado el levantamiento de las costas norte i sur independientemente i apoyado cada trabajo en las observaciones astronómicas, fué necesario, al concluir la triangulacion de union, correr cada trabajo de *media milla marina*, o sea 1 852 metros en total.

En Hawai se ha encontrado desviaciones de la vertical hasta de $97''$, 6, entre dos puntos que distan sólo 120 Km, pero a lados opuestos del volcan Maunakea. Cerca de Haleakola se encontró $29''$ de desviacion, bastante de acuerdo con el valor calculado para la atraccion de las montañas, $28''$ (40).

(37) OBRECHT, *Desviacion de la vertical*, páj. 9 i 12. Santiago de Chile, 1899.

(38) En dicha memoria sólo se habla de la *anomalía local*. En realidad, hai desviaciones *locales*, *regionales* i *continentales*, como las llaman los jeodestas.

(39) TITTMANN, *Deflections of the vertical in Porto Rico*, publicado en 1903 en la revista «Science». El dato lo tomamos de nuestro registro, pues no hemos tenido a mano nuevamente, en esta ocasion, la citada revista.

Bien conocida es la frase de los jeodestas: «*la latitud huye de las masas*», pero no solo son las masas aparentes sobre la superficie de la Tierra las que perturban, tenemos tambien las variaciones de densidad interior i los defectos de la costra terrestre. En los alrededores de Moscow, en terreno enteramente plano, las desviaciones de la vertical llegan a 15,"6 (41).

Ahora, el valor de la desviacion de la vertical, que se obtiene por comparacion de los resultados astronómicos i jeodésicos, (el signo se toma en el sentido A-J) es relativo, dependiendo de la eleccion del punto orijen, i el monto es tambien influenciado por los elementos del elipsoide en que se basa el cálculo.

Así, por ejemplo, si partiendo de Santiago llegásemos a la Ligua con un valor de 5" para la discordancia entre el valor astronómico de la latitud i el jeodésico, partiendo de otro punto astronómico podria ser cero.

Con el solo propósito de que el lector se forme una idea propia en estos asuntos daremos un ejemplo en lo que se refiere a la influencia del elipsoide. En India (42) la suma aljebraica de las desviaciones de la vertical que, calculada con el elipsoide de Everest, alcanza a 146", se reduce a solo 29" con el de Clarke.

Si se toma en cuenta que un metro de error en su grado jeográfico representa próximamente *uno en cien mil*, basta para comprender que un simple cambio de elipsoide seria suficiente para ajustar una triangulacion, el fijarse que a la latitud de 45° por ejemplo el grado vale 111 132 m en el elipsoide de Faye i solo 111 119 m a el de Bessel.

En los últimos tiempos se ha comenzado a emplear, por recomendación de Helmer, el elipsoide Bessel con el semi-eje mayor aumentado en un diezmilésimo.

Haciendo uso del método de comprobacion empleado por el señor Obrecht, para la longitud de la base, podríamos, pues, con solo variar a voluntad la ubicación de las estaciones astronómicas declarar *buena*, excelente o pésima tanto la mas modesta triangulacion topográfica como el mejor trabajo jeodésico.

Por nuestra parte no acudiremos, por cierto, al sistema preconizado por el distinguido profesor, ni aun a distancias mucho mayores, mas favorables a la observacion astronómica, tanto mas que en el norte de nuestro pais, al lado de la pampa se elevan serranias de varios miles de metros i hai partes en donde la diferencia entre el fondo del mar i la cumbre de la cordillera alcanza a *catorce kilómetros*; es pues de esperar fuertes desviaciones de la vertical, especialmente en longitud, de carácter local i regional.

No se crea que los valores grandes de las desviaciones relativas de la vertical se refieren siempre a puntos distantes unos de otros (43). Existen no solo datos sueltos

(41) Dato tomado del trabajo de K. v. Orff, sobre la medida internacional de la Tierra, páj. 39

(42) Actas de la Asociacion Jeodésica Internacional 1899, páj. 273.

(43) Véase algunos valores fuertes en: Herz, *Geodäsie, Leipzig 1905*, 54" de desviacion entre

muy interesantes, como el caso de los dos observatorios de Viena, distantes de doce kilómetros i con una desviacion relativa de tres segundos, sino aun esperiencias especiales que creemos de interes citar aquí.

Sterneck, jeodesta eminente i muy conocido por sus observaciones pendulares, ha publicado curiosísimos datos (44) en 1888 i que se refieren a un valle con solo mil metros de diferencia de nivel con las cumbres adyacentes, o sea menor que en el caso de La Ligua.

De la páj. 61 de esta interesante memoria, que trata de la determinacion de la influencia de la atraccion de las masas sobre los resultados de las coordenadas jeográficas determinadas astronómicamente, tomamos los datos siguientes:

Estaciones	Distancias	Desviacion relativa en latitud
II—I	1 270 m	9",1
II—III	1 437 m	7",6
II—IV	2 798 m	17",9

Todas estas estaciones se encontraban en un mismo meridiano.

Examinando el cuadro se verá que entre los puntos I i IV, que distan proximalmente cuatro kilómetros, o sea 132" en este caso, existe una desviacion relativa de 27", que corresponde próximamente un quato de la distancia (!)

Entre las dos bocas del túnel de San Gotardo, existe, segun Messerschmidt, (45) una desviacion relativa de la vertical que alcanza a 9,6", con — 1,"8 en Airolo i + 7,"8 Goeschenen, si se acepta el valor cero para Berna.

En Los Alpes las desviaciones de la vertical se hicieron aun notar en el cierre de uno de los triángulos de los trabajos del Túnel del Simplon (46) cuyo lados tenian fuerte inclinacion. Repetidas las mediciones el cierre no se alteró sensiblemente, pero fué satisfactorio despues que se calculó, valiéndose de las cartas hipsométricas, la desviacion de la vertical i su efecto en el citado caso, que equivale al de un instrumento desnivelado.

¿Qué valor prudente podríamos ahora aceptar como posible en el caso de la Ligua?

La respuesta es, sin duda, difícil, pero al ménos podremos formarnos una idea.

En la memoria de Messerschmidt (*Das Geoid der Schweiz*, 1901, páj. 181) podrá verse un ejemplo de un sistema de desviaciones de vertical en latitud, que se obtiene aceptando para Berna la coincidencia de la vertical con la normal al elipsoide de Bessel.

(44) Sterneck—*Bestimmung der Einflusses localer Massenattractionen auf die Resultate astronomischer Ortsbestimmungen*—Mitt K. K. M. G. I. Wien 1888, páj. 57.

(45) Memoria del citado autor sobre el jeoide en Suiza, páj 188, 1901.

(46) Memoria de Rosenmund sobre la triangulacion del Túnel del Simplon. «*Erster Teil*», Die

Damos a continuación la serie de valores tomados de dicha memoria i que han servido para el estudio del jeoide en Suiza, país montañoso como el nuestro:

«Latitud astronómica»		ménos	«Latitud jeodésica»
— 2,75"	+ 4,77"	+13,97"	+12,06"
+ 2,58	—14,00	+19,18	+ 1,03
—10,23	—17,91	+ 3,86	—26,74
— 1,78	— 7,07	— 5,76	— 6,09
+ 1,99	— 2,43	+ 4,53	— 2,67
— 2,36	— 5,68	+ 2,04	+ 1,20
— 4,07	+ 7,00	+12,37	—22,99

Si se examina el cuadro se verá que el cincuenta por ciento de las desviaciones de la vertical son mayores que *cinco segundos* i seria enteramente injustificado el pretender que con esa aproximación, tan insignificante como insegura, pudiese comprarse una triangulación jeodésica.

Recuerde el lector que cada segundo de latitud vale próximamente treinta i un metros en la región media de Suiza,

Si acudimos, ahora, a un terreno plano, como es el norte de Europa, por ejemplo, encontraremos valores extremos menores, pero no varía mucho la cifra media. En efecto, en la memoria del Profesor Boersch (47) sobre las desviaciones de la vertical, presentada en su carácter de jefe de la sección destinada a estos estudios en el Instituto Jeodésico, encontramos que los valores varían entre $-8''$ i $+8''$ en latitud i que entre 26 hai trece mayores que *cuatro segundos*.

Si aceptamos *muy modestamente* solo el valor *cuatro*, encontraremos que la precisión que correspondería en este caso a la distancia meridiana entre La Ligua i Santiago seria de *uno en novecientos*, o sea, que habria sido mas práctico, siguiendo este criterio, el comprobar la base jeodésica haciendo uso de la modesta cadena del agriensor (48) en vez de emplear la comprobación astronómica, como lo hizo el señor Consultor Técnico del Estado Mayor.

¡Ha sido, pues, bien débil el bagaje que constituye los «*datos apuntados*» que han servido de base para poner en duda la *buena fé* de los que se crean con derecho a impugnar los trabajos de la Oficina de la Carta del Estado Mayor!

Si nos colocamos aun en el *caso especialísimo*, de no pensar siquiera en la posible desviación de la vertical, i examinamos los datos proporcionados por el señor Obrecht, encontramos que a la distancia de *un grado* de meridiano ha encontrado *un segundo i tres décimos* de diferencia, o sea, para su comprobación, una precisión de

(47) BOERSCH—LOTHARWEICHUNGEN. Heft III, 1906. Publicación del Instituto Jeodésico de Prusia.

solo de uno en dos mil setecientos sesenta i nueve, es decir, que se ha comprobado la triangulacion de primer orden haciendo uso de un sistema que indica una precision inferior a la tercera parte de la de tercer orden.

¡En esto se basa la declaracion del distinguido conferencista de que la base jeodésica es satisfactoria!

Será, sin duda, de interes el recordar aquí que el señor profesor dió en 1903 (49) una conferencia en el Instituto i en la cual llegó a la conclusion que la base de Melipilla, de 7,7 km. de largo, podia, segun él, tener una indecision de un metro, o sea, en este caso, de uno en siete mil setecientos.

Es, pues, curioso que hoi dia no se le atribuya importancia a una precision de la comprobacion mui inferior a aquella de 1903. (!)

¿Cuáles son ahora las observaciones astronómicas en que se basa el trabajo del Estado Mayor, qué méritos puede atribuírseles i de qué errores es posible que estén afectadas?

Las primeras tentativas astronómicas se remontan parece a 1899, pues en aquella época (50) se publicó lo siguiente: «*La red jeodésica se referirá a un sistema de coordenadas conformes, teniendo su oríjen en el cerro de Renca, donde se ha establecido una pirámide de piedras i ladrillos para efectuar las observaciones astronómicas necesarias.*»

«*La idea de relacionar el sistema de coordenadas con el Observatorio de Santiago, no se pudo realizar, ya que dicho Observatorio carece de una marca de meridiano para ese objeto.*»

Si el lector es astrónomo ya habrá sonreído probablemente. En cuanto a nosotros el estudio del presente tema nos ha proporcionado mas de algun rato de franca hilaridad.

Parece que mas tarde se volvió a la idea del Observatorio, a pesar de la falta de mira meridiana, (!) i se hizo muchas tentativas para determinar el azimut del lado Observatorio-Calera, trabajo que el señor Consultor Técnico atribuye ahora a nuestro colega señor Taulis, (51) al ménos la comprobacion.

Nuestro distinguido colega de oficina, señor Taulis, para convencer al señor Deinert de que él se encontraba en la razón, al interpretar la forma en que debia determinarse el error de índice, tomó su cronómetro i efectuó varias observaciones de una estrella, deduciendo despues las alturas por el cálculo con el objeto de compararlas con las leídas. El señor Deinert pidió, ademas, que se le calculara los azimutes, i éstas son las observaciones en que se basa la red del Estado Mayor o, al ménos, constituye la comprobacion, como ha dicho el señor Consultor Técnico.

(49) *Anales del Instituto de Ingenieros*, 1903, N.º 10, pág. 445.

(50) *Memorial del Estado Mayor*, 1899, pág. 96.

(51) Así se dice en *El Mercurio*, pero en el orijinal escrito á máquina se le ha hecho una co.

Un tiempo mas tarde el Estado Mayor pidió al señor director del Observatorio Nacional que efectuase observaciones en Paico. El señor Obrecht cambió señales con el infrascrito en una sola noche, determinó ademas la latitud i no sabemos si se hizo observaciones de azimut, pero sí recordamos que se colocó para ello un farol colgado de una banderola.

Cuando recien se hizo cargo de su puesto el señor Obrecht, se dispuso la colocacion de una luz en el vértice Lagunas, con el objeto de determinar el azimut desde el observatorio; pero no sabemos si de aquí algo resultó o nó.

En cuanto a las observaciones en La Ligua, no parece haberse gastado la prolijidad que se exige, pues en las de longitud no se tomó en cuenta la ecuacion personal; no se igualaron las corrientes ni, por fin, hubo el número de noches necesarias para quedar siquiera en la quinta categoría (52). Agregaremos que no se leyó el nivel del instrumento.

La influencia de la ecuacion personal, o mejor dicho, de la *ecuacion personal relativa* entre dos observadores es bastante notable, con frecuencia, i el mismo señor Obrecht consideraba en 1890 (53) su determinación como *condicion preliminar* para conocer la diferencia exacta de longitud.

Con el objeto de que el lector se forme idea del monto que puede alcanzar la ecuacion personal relativa, damos algunos valores determinados en el Observatorio Nacional, i espresados en segundos de tiempo:

Obrecht—Devaux.....	0,15 ^s
Obrecht—Greve.....	0,01
Taulis—Ateaga.....	0,15
Greve—Guevara.....	0,59
Greve—Soza.....	0,23

Llamará quizas la atencion del lector, en vista de este cuadro, que existiendo entre el señor Obrecht i el infrascrito una diferencia tan pequeña en el modo de estimar el paso de las estrellas, pueda existir hoi una tan enorme en la apreciacion de los problemas de jeodesia práctica.

En los trabajos astronómicos de longitud se determina el valor de la ecuacion personal relativa ántes i despues del período de observacion, pues existe, con frecuencia, una variacion mas o ménos regular (54) i la importancia que se ha atribuido

(52) En el trabajo del prof. Albrecht, sobre la compensacion de la red de longitudes de Europa, puede verse las cinco categorías adoptadas para la longitud. (*Astronomische Nachrichten*, t. 89, páj. 305).

(53) OBRECHT, *Coordenadas jeográficas de algunas ciudades de Chile*, Santiago de Chile, 1890 páj. 132.

siempre a esta cuestion ha proporcionado un material abundante de experimentacion.

Este fenómeno de la ecuacion personal depende principalmente del movimiento relativo de la estrella con respecto al retículo, i es fácil verlo en el cuadro publicado por Albrecht (55), que copiamos a continuacion, no tanto para que el lector se de cuenta de nuestra aseveracion, sino, principalmente, para que juzgue si es lógico el despreciar la influencia de la ecuacion personal. Se trata de los distintos observadores del Instituto Jeodésico de Prusia.

OBSERVADORES	MÉTODO COMUN (Estrella móvil con respecto al retículo)	MICRÓMETRO IMPERSONAL (Estrella bisectada por el hilo móvil)
A — B	— 0,11 ⁵	— 0,00 ^s
A — G	— 0,31	— 0,03
A — S	— 0,18	— 0,03
B — G	— 0,22	+ 0,01
B — S	— 0,09	— 0,02
G — S	+ 0,11	— 0,01

Despues de lo espuesto se comprenderá el motivo por el cual los encargados de los cálculos, con fines internacionales, no tomen siquiera en cuenta trabajos astronómicos que no hayan sido previamente depurados de la influencia de la ecuacion personal, es decir, que su material de observacion no sea *homojéneo*, reducido a un *mismo observador*.

En cuanto a la latitud observada en La Ligua i que, como se ha visto, no comprueba en realidad el trabajo primario, no tenemos datos suficientes para estimar su mérito, solo recordaremos al señor Obrecht que este elemento jeográfico es variable hasta de seis décimos de segundo (18 metros) i que para depurar siquiera en parte de la influencia de esta variacion seria necesario corregir por los datos de Albrecht (56) o la fórmula de Chandler.

Lo anterior es tanto mas lógico desde que el señor Obrecht, si se ha propuesto emplear las observaciones astronómicas de latitud para comprobar una red jeodésica primaria, o sea, descubrir, en el caso estudiado, si existe un error mayor que *un metro diez centímetros*, no podrá despreciar una influencia que puede llegar hasta *dieciocho metros*.

Si el lector desease imponerse ahora sobre la forma en que se llevan a cabo las observaciones astronómicas relacionadas con la jeodesia, le recomendaríamos el testo

(55) *Astronomische Nachrichten*, tomo 155, 1901.

(56) ALBRECHT — Las diversas memorias de este eminente profesor i publicadas bajo el título

de Albrecht, sobre la determinacion de coordenadas jeográficas; tambien la obra de Doolittle sobre Astronomía aplicada a la Jeodesia o la de Hayford. (57)

En cuanto a nosotros, bástenos decir que el azimut inicial se determina jeneralmente reiterado en doce partes del círculo i que cada serie comprende de dos a cuatro observaciones divididas en ámbas posiciones. El número de reiteraciones i la forma en que se ejecutan ellas depende del número de microcopios del círculo azimutal del instrumento. (58)

Pero ahora el lector, que hubiere llegado hasta aquí en su paciencia de seguirnos en esta ya larga esposicion, se preguntará ¿por qué se ejecutan observaciones astronómicas, fuera de las del punto oríjen, si la precision de éstas no es suficiente al parangonarla con la obtenible jeodésicamente?

¿Es o no un control el programa astronómico ante el programa jeodésico? Por nuestra parte, despues de lo que le acaeció al jeodesta Méchain (59) que agravó tanto su delicado estado de salud el hecho de resultarle una diferencia de tres segundos entre el valor observado i el trasladado, para la latitud, hace mas o ménos un siglo, entre Montjoux i Barcelona, con una distancia de doce kilómetros solamente, no ensayaremos el comprobar por latitudes el valor lineal de una red. (60)

El rol que desempeñan hoy día las observaciones astronómicas es bien distinto al que le atribuyó el distinguido profesor. Primeramente se ejecutan dichas observaciones con el objeto de estudiar el jeoide i cuando se trata solo de latitudes siguiendo proximately en meridiano se le conoce con el nombre de «*nivelacion astronómica*»; en segundo lugar, sirven de control a las observaciones azimutales de la red i a la orientacion de ésta, en las estaciones llamadas por los jeodestas «*Puntos de Laplace*», como es el de La Ligua i, por fin, el conjunto de las desviaciones de la vertical proporciona los elementos que sirven a la fijacion del *elipsoide de referencia* para una cierta rejion, para lo cual jeneralmente es necesario suponerlo desplazado paralela-

(57) El azimut inicial de la triangulacion que ejecuta en el norte la Seccion Jeodésica de la Oficina de Mensura de Tierras, fué determinado por nosotros con cuarenta i ocho observaciones. mitad en cada posicion del instrumento, dos diferentes estrellas a ménos de un grado del polo i en doce posiciones del círculo azimutal cada una de ellas. La latitud se dedujo de mas de un centenar de culminaciones repartidas en dos posiciones del instrumento i cuatro del círculo reiterados.

(58) La obra de Porro, sobre el azimut de la señal Monte Vesco, desde Turin, es especialmente interesante. En el tomo XXI—1906—que bajo el título de *Astronomisch-Geodætischen Arbeiten*, publica la oficina de Viena, hai numerosas observaciones de azimut.

(59) Hemos leído en la Biblioteca del Observatorio Nacional el trabajo publicado por Bigourdan en el *Bulletin Astronomique* i lo recomendamos calurosamente al lector, pues es de actualidad. *Gore-Geodesy*—London, 1891—contiene tambien, en la página 151, la historia de los trabajos de Délabre i Méchain.

(60) Segun GORE (Geodesy, páj. 129) ya BACCARIA, en 1768, proyectaba una triangulacion cerca de Los Alpes, para comparar los valores trasladados i observados de la posicion jeográfica.

la

mente al eje de rotacion, admitiendo ciertos valores como desviaciones en el punto orijen, en latitud i longitud.

En el norte de Europa el elipsoide de referencia se ha obtenido aumentando en un diez mil avo el eje mayor del elipsoide de Bessel i admitiendo en latitud i longitud las desviaciones $+5''$ i $+4''$, respectivamente, para el orijen (vértice Rauenberg).

La comprobacion azimutal de una red se hace por la «fórmula de Laplace» (61) que proporciona la desviacion de la vertical en azimut partiendo de la desviacion en longitud i del valor de la latitud.

El señor Obrecht no supone, en el caso de La Ligua, ninguna desviación para la latitud i el azimut, pero sí la mayor parte de los trece segundos que le resultan de discordancia entre las longitudes.

Es bien extraño que el distinguido profesor no haya aplicado en este caso la citada fórmula de Laplace i hubiese dado el «residuo», como lo hacen todos los jeodestas. Habria encontrado de un modo inverso que la citada fórmula partiendo de sus suposiciones le daria *un segundo i medio* como desviacion en longitud, valor, por cierto mui distante de ser *la mayor parte de trece*.

Para fijar mejor las ideas podrá el lector consultar un ejemplo en la obra del jeodesta italiano *Loperfido (Misura di un arco terrestre, Roma 1904, páj. 18)* en donde, al lado de fuertes desviaciones de la vertical, verá que los residuos de la ecuacion de Laplace son allí menores de un segundo para los azimutes o sobrepasan en mui poco esta cifra.

Un caso típico tenemos en Alemania i Suiza, en donde partiendo de Muenchen se llega a Phaender con un valor de $14,8''$ como desviacion de la vertical en azimut i $20,0''$ en longitud. El cálculo da, por la fórmula de Laplace, una desviacion de $14,7''$ para el azimut, o sea un acuerdo casi perfecto.

Este es, pues, el papel que desempeñan principalmente las observaciones astronómicas bien ejecutadas, al lado de su importancia científica, como factor controlante de los trabajos jeodésicos.

*
* *

La medicion de la base jeodésica

En la Memoria de Guerra, de 1903, páj. 31, puede leerse lo siguiente: «*Se ha hecho el reconocimiento i la eleccion de la linea férrea EN QUE SE MEDIRÁ UNA BASE DE COMPROBACION con el nuevo aparato para medir bases que mui pronto debe llegar de Europa*».

(61) Consúltese p. e. Jeodesia Superior de *Helmert*, tomo I, páj. 537; *Pizzetti*, páj. 343, o bien *Pucci*, tomo I, páj. 211; Jeodesia de *Herz*, páj. 375.

En vez de dar cumplimiento a lo espuesto en el párrafo anterior, la Oficina de la Carta ha preferido hacer toda clase de afirmaciones aventuradas sobre la precision de su trabajo basado en una sola base medida en Chifñihue.

La medicion de la base de Chifñihue ha sido materia de una conferencia del señor Obrecht. en 1903, seguida de algunas observaciones del señor Bertrand i nustras.

Ahora, cómo apreciaba el señor Deinert la anterior conferencia i sus resultados, puede verse en la Memoria de Guerra, 1904, de donde copiamos los párrafos siguientes, tomados de las páginas 39 i 40: *«Ocupado estaba en el desempeño de este cometido (trabajos cerca de San Felipe), cuando, á causa de la publicación hecha por la oficina sobre la red de Melipilla, algunos ingenieros, miembros del «Instituto de Ingenieros», representados por el Director del Observatorio Astronómico de Santiago, en una conferencia que tuvo lugar en el seno de esa institución, hicieron algunas observaciones a los métodos i expresaron dudas sobre la exactitud de los trabajos que ejecutaba la oficina encargada del levantamiento de la Carta. El jefe de ésta, en una conferencia dada en el mismo local de aquel Instituto, demostró que carecían absolutamente de base los cargos hechos; pero, como los rumores de esta polémica habian trascendido al público, era necesario mantener ante éste el prestigio de los trabajos que ejecuta el Estado Mayor, i con este fin, i tambien para disipar completamente las dudas de los señores Ingenieros ya citados, creyó conveniente la oficina llegar de una vez por todas al fondo de la cuestion, demostrando con esperiencias en el terreno lo que ya habia probado con la teoria».*

Segun se desprende del parrafo reproducido, habia especial interes en convenecer a los ingenieros equivocados en sus juicios i, como se especifica en la página 41 de la misma Memoria, se rehizo todas las estaciones de la red de base, pero sin publicar aquellos datos concernientes comparados con los antiguos.

A pesar de que el señor Deinert decia, en la página 40 de la Memoria que tratamos, que el éxito fué lisonjero i que todas las personas asistentes quedaron *ampliamente satisfechas*, citando entre éstas al señor jefe de la Comision de Límites i señor Director del Observatorio, resulta de los archivos de las oficinas respectivas, que en cuanto á las notas núms. 81 i 82, respectivamente, dirigidas a los señores jefes citados por el señor jefe de Estado Mayor, las respuestas no estan mui de acuerdo respecto a la satisfaccion amplia de que se habla, pues el señor Jefe de la Oficina de Límites decia: *«Respecto a los trabajos mismos i a la garantía de exactitud que ofrecen, no me seria posible pronunciarme sin un exámen mas minucioso de cada una de las operaciones».*

Por su parte el señor Director del Observatorio Astronómico decia con fecha 4 de Diciembre de 1903, que al nuevo método de medicion de la base, ya no se aplicaba la crítica teórica por él formulada respecto al antiguo, i en cuanto a exactitud, agregó:

«Sin embargo, no me atreveria a dar todavia una opinion definitiva sobre el grado de

... porque no he podido en mi última visita imponerme

con suficiente detencion del detalle de las diversas operaciones i de los cálculos correspondientes».

En vista de que el señor Obrecht, en su nota de fecha 4 de Diciembre de 1903, considera sin efecto ya sus observaciones respecto a la medicion de la base de Chinihue, tal como la trató en su conferencia, pasamos al estudio del resto de las objeciones hechas i que se supone ahora destruidas por el certificado de un eminente profesor extranjero, no pedido por el Supremo Gobierno, como se ha dicho, sino por un miembro de la Comision Militar en Europa.