MÉTODOS DE TRABAJO

EMPLEADOS POR LAS COMISIONES CHILENAS DE LÍMITES PARA HACER EL LEVANTAMIENTO JEODÉSICO DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES (1).

POR EL PROFESOR ALEJANDRO BERTRAND

(Universidad de Santiago, Chile)

(Traducido del *Geographical Journal* correspondiente al mes de setiembre de 1900)

El propósito de esta conferencia no consiste sino en llamar la atencion de aquellos que se interesan en los procedimientos que conducen al conocimiento jeográfico de la tierra, hacia algunos medios prácticos que hemos empleado, abonados por una ya larga esperiencia, con mas éxito aun del que esperábamos en un principio. No tengo la pretension de haber inventado, ni siquiera de haber sido el primero en aplicar dichos procedimientos; el mérito de nuestra esperiencia consiste en la estension en que los hemos aplicado, en la rapidez i relativa precision de los resultados, allí donde los procedimientos ordinarios habrian implicado mayor dilacion para obtener simples croquis jeográficos, con los recursos de que disponíamos

Los caractéres distintivos i salientes de nuestros procedimientos jeodésicos en la cordillera de los Andes son:

1.° La sustitucion de una red poligonal por los valles de la cordillera en vez de una red de triángulos por las cumbres de la misma;

2.° Las medidas telemétricas de largas distancias que constituyen el perímetro poligonal;

3.° La determinacion del azimut verdadero de los lados de la poligonal por la observacion esclusiva de las máximas digresiones de estrellas circumpolares;

4.° La comprobacion de la posicion de puntos de estacion por sus latitudes, deducidas esclusivamente de observaciones de diferencia de distancias cenitales de estrellas en su culminacion con instrumentos trasportables;

---

(1) Conferencia leida el 27 de marzo de 1900 en la Real Sociedad Jeográfica de Lóndres.

5.° La comprobacion de la posicion de los puntos mas importantes en lonjitud, por medio del alambre eléctrico, i a veces, de puntos secundarios por ocultaciones de estrellas;

6.° La preparacion anticipada, por medio de formularios impresos i diagramas, de todos los elementos de observacion, cálculo i representacion gráfica de los resultados.

Antes de entrar en detalles, seria talvez conveniente decir algo acerca de la estension i propósito del levantamiento de que vengo hablando. Este trabajo ha sido emprendido, por parte de Chile, como un complemento de la demarcacion en el terreno de la línea fronteriza convenida por un tratado con la República Arjentina, sin limitar nuestro estudio, sino, al territorio inmediato a dicha línea; por el contrario, hemos cuidado de establecer puntos de partida en puntos bien determinados de la rejion central del pais, i aun de la costa del Pacífico cuando se ha estimado necesario o conveniente, con el objeto de mantener una conexion jeográfica entre las diferentes secciones del levantamiento.

En cuanto a su estension, nuestro trabajo abrazará cuando esté terminado (lo fué en 1901) próximamente 3200 km a lo largo de la cordillera, de norte a sur, entre los paralelos de 23° i 52° i los meridianos de 67° i 74° al oeste de Greenwich.

Trabajo topográfico

Ningun terreno parece a primera vista mas adecuado para estender una triangulacion, que el de la cordillera, ya que las innumerables cimas de sus macizos i espolones, nada han de dejar que desear como estaciones trigonométricas, una vez que se haya logrado ascender a ellas. Es pues necesario esplicar por qué hemos preferido la red poligonal a la triangular en el presente caso.

La esplicacion es mui sencilla i se desprende de una simple comparacion entre las dos definiciones siguientes:

Una triangulacion envuelve un trabajo especial que se verifica en las cumbres de los cerros, que requiere una ascension a cada punto de estacion, operacion cuyas dificultades aumentan en proporcion a la mala condicion, escasez o absoluta carencia de sendas para llegar a dichas cumbres. Ademas las estaciones en estas últimas están espuestas a los fuertes vientos que soplan allí diariamente con una violencia tal que es a menudo materialmente imposible estacionarse.

Una poligonacion (o rodeo jeodésico) es por el contrario una operacion que puede fácilmente desarrollarse por el fondo de los valles, en la vecindad de los caminos i senderos existentes, i esto sin ocasionar indebida dilacion en los otros propósitos de la espedicion, cualquiera que fueren.

Esto correspondia precisamente con el programa de las comisiones chilenas. Estas habian recibido la mision de demarcar como línea fronteriza, la de separacion de las aguas en los Andes, que como todas las divisorias de aguas, puede ser fácilmente identificada en casi todos los casos por la simple inspeccion ocular, sin necesidad de un estudio previo del terreno. Sin embargo, como las comisiones demarcadoras tambien habian recibido la instruccion de practicar dichos estudios sin retardar indebidamente la demar-

cacion del límite, con el objeto principal de poder dibujar en un mapa la verdadera configuracion del terreno a ámbos lados de la línea divisoria, comprendí la conveniencia de buscar un método en cuyos resultados se pudiera tener confianza no solamente para el propósito referido, sino tambien para satisfacer la necesidad mas jeneral de la existencia de un plano compuesto de partes conectadas jeodésicamente unas con otras, i con la parte ya conocida del pais. El método de *poligonacion* ademas de ser el mas espedito, ofrecia la ventaja adicional de suministrar al mismo tiempo un plano i un perfil lonjitudinal de cada valle de la cordillera por donde pasaran las comisiones de límites, estableciéndose así una base eficiente para la futura construccion de caminos en un terreno lleno de dificultades.

Para que se comprenda bien la importancia práctica de todas las circunstancias mencionadas, será talvez justificado insistir algo mas en las dificultades materiales que ofrecia la ejecucion de una verdadera triangulacion en la cordillera de los Andes. En primer lugar, hai que tener presente que cada comision compuesta de tres o cuatro injenieros i diez a veinte arrieros i peones, tiene que ser equipada de una vez para cada estacion, esto es, para cuatro o seis meses, durante los cuales queda incomunicada, salvo por mensajeros especiales, con el mundo civilizado. Cada comision, sale, pues, al principio de la temporada con el número necesario de caballos i de mulas de silla i carga, las cuales tienen que durar toda la temporada en rejiones en que los pastos no son siempre buenos ni abundantes, sin posibilidad de cambio o remuda. Para llevar los injenieros sus asistentes i los instrumentos necesarios hasta las cumbres de las elevadas montañas que tendrian que ser elejidas como estaciones jeodésicas se requeriria un número de animales que seria incompatible con una fácil movilizacion de los campamentos. Sucede que, o bien los cerros son desnudos i sus faldas se componen de rodados i piedra suelta en que no se sujetan las uñas de los animales, o bien que estén cubiertos hasta cierta altura con bosques o matorrales que impiden absolutamente su acceso. Sin ser naturalmente invencibles estas dificultades, puede, sin embargo, asegurarse que el trabajo i gasto de vencerlas no habria guardado proporcion con la utilidad del resultado que hubiéramos obtenido.

Por otra parte, el método poligonal permitia, segun lo he hecho notar, el ir ejecutando el levantamiento por el camino de cada espedicion, i no exijia de los animales mucho mayor trabajo que el requerido para la nueva demarcacion del límite.

Al mismo tiempo comprendí la deficiencia de un simple rodeo topográfico aplicado a este caso, i hube de arbitrar adaptaciones i modificaciones de otros métodos, tales que le dieran a los resultados que obtuviéramos un valor jeodésico.

Esplicaré ahora brevemente cómo se ha conseguido la realizacion de este propósito.

Medida de los lados

Como es bien sabido, los métodos usados para la medida de los lados en el rodeo topográfico son:

1.° La medida directa a cadena o cinta metálica de 20 a 50 m de largo.

2.° La medida indirecta, comunmente llamada estadimetría. En el primer caso, el

largo de los lados no tiene mas límite que la posibilidad material de medirlos en línea recta; en el segundo caso, sin embargo, no puede pretenderse exactitud alguna mas allá de 500 m.

El hecho es que, por cualquiera de estos métodos i tomando en cuenta la forma mui tortuosa de nuestros valles andinos, los lados habrian sido sumamente cortos, i por consiguiente, habria sido necesario un gran número de estaciones para llegar a la cumbre divisoria desde el centro de Chile. Esta multiplicidad de estaciones implica por una parte la probabilidad de la acumulacion de errores angulares, i por otra, un peligro de incremento en cada error individual por hacerse mas sensible en cortas distancias los errores de centracion en instrumentos i señales.

Ademas la medida directa habria sido frecuentemente imposible, sea que los senderos vayan por la falda de tortuosas barrancas, o por entre matorrales u otros obstáculos semejantes.

El método que hemos empleado se basa en el mismo principio jeométrico que la estadimetría comun. Este conocido principio consiste en la resolucion de un triángulo mui acutángulo, cuyo vértice está en el observador i cuyo pequeño lado opuesto se mide jeneralmente sobre una mira de 4 a 5 m de largo.

Para distancias de 500 m. se usan miras de lonjitud fija i el ángulo diastimétrico en el vértice se mide jeneralmente con un micrómetro agregado al instrumento.

Conservando el principio, he reemplazado la mira de madera por un alambre o cinta de acero próximamente horizontal de 100 m de largo, cuyos estremos se señalan por banderolas i he medido el ángulo diastimétrico del vértice opuesto sobre el limbo horizontal de un teodolito tránsito comun de 5 a 6 pulgadas. De esta manera el largo de los lados puede aumentarse indefinidamente, puesto que si el terreno se presta a ello, la base puede estenderse a *200* o *300* m, o bien puede hacerse una pequeña triangulacion en un estremo del lado, para fijar dos puntos convenientes que formen una base próximamente perpendicular a la direccion del lado. De esta manera se han medido lados de 15,20 i mas km con poco trabajo i exactitud satisfactorias.

Es evidente que, para conseguir exactitudpor este método, sólo se requieren dos cosas: una medida mui exacta de la base i una medida mui exacta del ángulo diastimétrico.

Dejando por ahora a un lado los elementos ménos importantes, diré cómo hemos efectuado estas dos clases de medidas.

El aparato de cien metros

Este es simplemente un alambre de acero de unos 10 m. de largo, i ménos de un kilógramo de peso, cerca de cuyas estremidades se han soldado dos manguitos de laton. Sobre éstos se hacen marcas entre las cuales hai exactamente 100 m cuando el alambre está libremente suspendido de ambos estremos sin descansar en ningun punto intermedio, bajo una tension de quince kilógramos i a la temperatura de 15° centígrados.

El alambre es mantenido por dos asistentes por medio de dos manillas, i se trasporta enrollado sobre un carrete de madera.

Los alambres que usamos actualmente son preparados por los injenieros mismos en el comparador de la Oficina de Límites, el que ha sido establecido a su vez por una cinta de 100 m comprobada en la Oficina de Pesos i Medidas del Gobierno Norte-Americano en Washington (2). La tension se obtiene por medio de una balanza de resorte del comercio.

En estas condiciones el liviano alambre de 100 m permite colocar las dos banderolas de señal a esa exacta distancia por mui accidentado o cubierto de vejetacion que esté el terreno intermedio, i aunque haya alguna quebrada o torrente de por medio. Presenta, ademas, mui poca superficie a la accion del viento, i es de notar que la exactitud de la medida no queda afectada tampoco por esta causa, siempre que se mantenga la tension apropiada, pues nada importa que esa tension sea producida por la accion sola de la gravedad o que sea debida en parte al viento.

La base de 100 m da un ángulo diastimétrico de mas de 2° hasta 2500 m, i puede usarse hasta 5000 m con buen resultado. Para lados mayores, si el terreno lo permite, habrá que medir bases de dos alambres de largo, o calcular una mas larga como un lado, por medio de un ángulo diastimétrico en un estremo, i el alambre de 100 m tendido en el otro. Ambos procedimientos han sido empleados con resultados satisfactorios.

El ángulo diastimétrico

He dicho ya que nuestros ángulos diastimétricos han sido medidos sobre el limbo horizontal de un teodolito, dándose a este la preferencia sobre un micrómetro. Esta preferencia no ha sido otorgada sin pruebas i esperimentos previos, i aunque estaria de mas entrar en detalles a este respecto, las razones principales de esta determinacion pueden resumirse así:

Por una série de medidas del ángulo diastimétrico, simétricamente distribuidas en la circunferencia del limbo, se hace posible dar a la medida angular el grado de precision que se desee, eliminando, dentro de los límites requeridos, todos los errores instrumentales i de observacion. Este resultado no puede obtenerse con un micrómetro, especialmente en lo que se refiere a los errores provenientes de tener que observar imájenes producidas fuera del eje óptico de un telescopio, como sucede siempre con las medidas micrométricas.

Ademas, un micrómetro es un agregado poco adecuado para un teodolito de campo, es susceptible de perder su ajuste con el trato poco delicado a que tal instrumento está inevitablemente sometido. Al que desee asegurarse por sí mismo de la relativa exactitud del micrómetro i del limbo horizontal de un teodolito dado, le insinuaré que practique un esperimento sobre un ángulo conocido, por ambos medios (3).

---

(2) Este comparador fué destruido en el incendio de los almacenes de la Quinta Normal. Actualmente se está estableciendo uno de mayor precision en el Observatorio Astronómico, basándose en cinco cintas de 100 m comprobadas en Washington.

(3) La superioridad del círculo horizontal sobre el micrómetro para medir pequeños ángulos, ha sido ya sostenida, segun veo, por el coronel Tanner, en un artículo titulado «Bar subtense survey en Proceedings of Royal Geographical Society» 1891, p. 675

Para obtener que la medida de cada lado de la poligonal tuviera un grado de precicion, seria necesario determinar previamente el número necesario de repeticiones del ángulo, en vista de la magnitud de este último, i de la lonjitud aun desconocida del lado. Esta última podria naturalmente estimarse con cierta aproximacion u obtenerse por un cálculo preliminar, pero en la práctica, hemos estimado suficiente aumentar el número de repeticiones en razon inversa de la magnitud del ángulo desde dos repeticiones para cinco grados hasta seis repeticiones para un medio grado.

Cálculo de los lados

Los valores precisos de la base i del ángulo diastimétrico son, como queda dicho, los elementos principales de este cálculo. Las medidas ménos importantes de los ángulos formados por la base con los lados de la poligonal, i con el horizonte se practican con un menor grado de precision, así como lecturas del barómetro i termómetro. Estas últimas tienen por objeto efectuar correcciones en el largo de la base calculada, reduciéndola a la temperatura de 15° i al nivel del mar. Estas correcciones se hacen por medio de tablas.

El cálculo mismo se reduce a la suma de cuatro logaritmos i se hace en formularios impresos.

Agregaré que seria fácil comprobar la lonjitud de cada lado, midiendo sucesivamente un ángulo diastimétrico en cada uno de sus estremos i una base en el otro; pero en la práctica, con polígonos cerrados no se ha hecho sentir la necesidad de proceder así.

Angulos del polígono

Los ángulos comprendidos entre dos lados consecutivos son medidos con un teodolito tránsito comun, provisto de un declinatorio de gran tamaño. En cada estacion la línea 0.180° del limbo horizontal se hace coincidir con el meridiano magnético, i se hacen en seguida lecturas independientes en la direccion de cada lado, deduciéndose por diferencia el valor de los ángulos del polígono. Se repite la operacion haciendo coincidir esta vez la línea 90°-270° con el meridiano magnético. En ámbas medidas se hacen lecturas en la posicion directa e inversa del telescopio.

Hai un doble objeto en referir todas las direcciones al norte magnético: el primero es tener desde el principio una serie de rumbos magnéticos que sirvan para trazar un cróquis de la poligonal; el segundo i mas importante, es el de suministrar por diferencia, una vez calculados los azimutes verdaderos de los lados, datos seguros i valiosos respecto de la declinacion magnética en todos los puntos en que ha alcanzado la poligonal; el conjunto de estos datos permitirá, una vez terminado el trabajo, dibujar un mapa magnético de los Andes, que será seguramente de gran utilidad para los mineros i otros esploradores.

La red poligonal

Cada una de las principales líneas poligonales cruza jeneralmente el *divortium aquarum* de los Andes por uno de sus pasos mas bajos, i se estiende a cada lado por los

valles trasversales de la cordillera hasta encontrar valles de norte a sur, por donde se estienden poligonales de segundo órden hasta establecer conexion con las poligonales principales que siguen hacia el norte i hacia el sur. Así se forma una red de polígonos cerrados en cada uno de los cuales que se trata como una unidad, es fácil encontrar cada error de medida o de cálculo al hacer la construccion gráfica de cada perímetro cerrado, distribuyéndose entre todos los lados los pequeños errores residuales de *cierro*. Tales errores en término medio no han pasado de uno en ochocientos.

Despues de establecer la conexion entre las unidades poligonales del trabajo de una temporada, se toman en consideracion las latitudes determinadas astronómicamente en los puntos principales, i se hace un ajuste final del todo que envuelve jeneralmente mui pequeñas correcciones, pero impide de una manera efectiva la acumulacion de errores i su propagacion de una seccion a la contigua.

Nivelacion trigonométrica

Esta operacion se ha llevado a cabo simultáneamente con la planimetría, siguiendo el método jeneral, es decir, por medio de distancias cenitales recíprocas para los puntos de estacion, i por medio de simples distancias cenitales para las cumbres i puntos fuera de la poligonal. Hice imprimir tablas adecuadas para la correccion de la refraccion en este último caso, que permiten introducir, si fuera necesario, un nuevo índice de refraccion a mui grandes alturas. Fuera de ésto, nada de particular interes tengo que agregar respecto a esta parte de nuestro trabajo.

Operaciones astronómicas

He dicho ya los propósitos que se tuvieron en vista para practicar operaciones astronómicas en relacion con nuestro trabajo. Debo ahora llamar la atencion sobre las condiciones especiales en las cuales nuestros observadores tienen que trabajar, que proceden así de las peculiaridades astronómicas del hemisferio sur, como de las peculiaridades meteorolójicas de los Andes, i de la imposibilidad práctica de consagrar mas de unas pocas horas cada noche a las observaciones.

La ausencia de estrellas superiores a la quinta magnitud a inmediaciones del polo Sur, i la consiguiente imposibilidad de recurrir a los métodos de observacion sobre la Polar, tan en boga en el hemisferio Norte, han sido los motivos que nos han conducido a elejir otros métodos, ya conocidos en verdad por los profesionales, pero a cuya aplicacion práctica creo haber contribuido con reales mejoras en conexion con el uso de instrumentos portátiles.

Los vientos casi constantes i con frecuencia violentos que soplan en los Andes i en la altiplanicie Patagónica, son un obstáculo serio para el estacionamiento de los instrumentos, i aun mas, para la iluminacion del campo ocular del telescopio por la usual lamparilla de aceite; esta última dificultad se hace mas sensible cuando es necesario observar las estrellas de menor magnitud que sean visibles con el anteojo, pues se requiere entónces una luz a la vez tenue i fija.

Por fin, el hecho de que los observadores están de dia en constante movimiento i trabajo, hace indispensable que no se vean privados de su reposo nocturno; en otros términos, las observaciones astronómicas tienen que practicarse entre la hora de crepúsculo i la de recojerse.

A todas estas restricciones tuve que amoldar la seleccion de métodos e instrumentos. Como lo he dicho, no pretendo haber introducido novedad en unos ni en otros; mas, aunque estos métodos se practican en muchas partes, no ha llegado a mi conocimiento que hayan sido puestos a prueba hasta ahora, tan estensiva ni tan sistemáticamente como en nuestras comisiones, ni que álguien se haya dado cuenta cabal de la gran capacidad de unos i otros en cuanto a facilidad de observacion, eliminacion de errores i sencillez de cálculo.

Los instrumentos

Con escepcion de un instrumento especial, que describiré mas adelante, hemos usado casi esclusivamente los teodolitos tránsitos fabricados por Troughton i Simms, el de 5 pulgadas de diámetro para rodeos topográficos, i el de 6 pulgadas, con la adicion de un nivel de precision a la plancha de los nonios del círculo vertical, tanto para observaciones astronómicas como para la poligonacion jeodésica. Estos últimos instrumentos estaban tambien provistos de lamparillas eléctricas, una para la iluminacion interior del telescopio i otra para las lecturas, accionadas con una batería de pilas secas.

A este propósito, debo agregar que no se ha conseguido encontrar todavia una pila seca satisfactoria. Ha sido siempre necesario llevar en las espediciones la antigua lamparilla de aceite para obviar a los casos en que dejaban de funcionar las baterías. Sin embargo, aunque defectuosas las pilas i espuestas a fallar inesperadamente nos han prestado grandes servicios, pues la iluminacion eléctrica ha permitido observar con fuertes vientos estrellas de la cuarta i quinta magnitud, lo que jamas habria podido hacerse con las lamparillas de aceite.

Elementos de observacion

Por las razones ya esplicadas, así como teniendo en vista los métodos empleados, consideré de la mayor importancia que las observaciones pudieran hacerse sobre cualquiera estrella que fuera visible con una iluminacion tan débil como fuera compatible con la visibilidad de los hilos del retículo, i que estuviera en posicion de ser observada durante las dos o tres primeras horas de la noche. Como las efemérides inglesas i francesas no suministran el número necesario de estrellas, el primer paso fué hacer preparar e imprimir un catálogo de campo de estrellas australes hasta la quinta magnitud que son las que pueden jeneralmente observarse con el telescopio de 20 cm de nuestros teodolitos, en noche sin luna, en la trasparente atmósfera de nuestras cordilleras.

Con este propósito elejí, del valioso *Catálogo de estrellas australes* de Stone, formado en el Observatorio del Cabo de Buena Esperanza, todas las estrellas desde la quinta

magnitud, comprendidas entre el polo sur i los 12° de declinacion norte; el número obtenido fué de ochocientas dieziocho estrellas, mas de dos tercios de las cuales (4) no estaban contenidas en las efemérides corrientes, de tal manera que las observaciones de culminacion podian hacerse en término medio cada dos minutos.

Sin insistir en la disposicion del Catálogo, observaré sólo que estimé conveniente, al hacerlo publicar en 1897, dar la posicion media de las estrellas para 1900, calculando que nuestro trabajo duraria hasta despues de esa fecha. Esto ademas, simplificaba los cálculos, pues la época del catálogo de Stone es 1880, así que las correcciones se aplicaron a un período redondo de veinte años. Igualmente mencionaré que para evitar cálculos inútiles, se adoptó un tipo especial para los nombres de aquellas estrellas que estaban incluidas en las efemérides francesa e inglesa—de las cuales cada comision iba provista—de manera que, una vez observadas, su posicion para el dia pudiera tomarse directamente de dichas publicaciones.

El uso de nuestro catálogo de campo es ademas facilitado por medio de un mapa sideral, hecho especialmente, en que figuran con su número las ochocientas dieciocho estrellas del catálogo.

Método de observacion

Para elejir los métodos de observacion, me he guiado por un principio jeneral que creo no debiera jamas desatenderse cuando se pretende obtener resultados dignos de fé, tanto en jeodesia i astronomía como en cualquier ramo de las ciencias esperimentales. Este principio puede enunciarse en una forma cuasi axiomática diciendo que, *para que los resultados obtenidos con un método dado de observacion merezcan ser considerados como dignos de confianza—esto es, libre de errores, dentro de ciertos límites—el método debe asegurar la eliminacion sistemática de todos los errores que puedan sobrepasar dichos límites, i que puedan resultar, sea de las observaciones, de los datos, de los instrumentos o de las condiciones especiales en que el observador se encuentre colocado.*

Para citar como ejemplo un caso frecuente, supóngase que se trata de determinar la latitud jeográfica de un punto por cierto número de culminaciones de estrellas. Por mui grande que sea el número de culminaciones observadas i por mucho cuidado que se tenga en estacionar el instrumento, si todas las observaciones se hacen sobre estrellas que culminan al mismo lado del cenit, i en la misma posicion del telescopio, el resultado final no estará libre de ciertos errores sistemáticos. Cualquier defecto de horizontalidad en la posicion inicial del eje de colimacion afectará igualmente todos los resultados; cualquier error sistemático en las declinaciones dadas para las estrellas observadas se trasmitirán íntegramente en un mismo sentido a los resultados; finalmente todos los errores debidos a la diferencia que pueda haber entre el verdadero índice de refraccion en el lugar de observacion, i el que haya servido de base para calcular las tablas de que se hace uso, afectará tambien sin atenuacion alguna todos los resultados.

---

(4) Estas cifras se refieren a 1897. Desde entónces las efemérides francesa e inglesa han ido aumentando año a año el número de estrellas.

Supóngase, por el contrario, que la mitad de las culminaciones observadas tiene lugar al norte i la otra mitad al sur del cenit; sucederá entónces que todos los errores sistemáticos de que adolezcan las declinaciones de las estrellas, todos los errores de colimacion vertical, afectarán con signos contrarios una i otra mitad de los resultados, i por consiguiente, quedarán en parte eliminados. Si ademas, se invierte el anteojo para cada dos observaciones, a cada lado del cenit, se eliminará todavía mayor número de errores instrumentales. Por fin, si se agrupan las estrellas en parejas de tal manera que las dos estrellas de cada pareja culminen a diferentes lados i a distancias sensiblemente iguales del cenit, todos los errores debidos a la refraccion quedarán tambien eliminados.

Eliminados así, en la medida de lo posible, los errores sistemáticos por la aplicacion del principio arriba enunciado, la importancia i el valor probable de los errores accidentales puede deducirse de las observaciones mismas por el conocido método de los cuadrados menores, pudiéndose asignar así su verdadero valor científico a cada resultado.

Al mismo tiempo que el principio científico citado, tuve oportunidad de aplicar otro, de carácter meramente práctico, que una esperiencia anterior me habia hecho poner a prueba. Lo enunciaré diciendo que, cuando se emprende un trabajo que exije un gran número de observaciones, las cuales envuelven necesariamente un número mucho mayor de cálculos, débese estudiar previamente con el mayor cuidado, i preparar hasta en sus menores detalles el arreglo metódico de cada una de las operaciones por efectuar. Todo el tiempo, toda la intelijencia i todo el trabajo que se inviertan en disponer así la ejecucion del trabajo en su conjunto, quedará pagado con creces en cada operacion individual. Prosigo ahora, dando algunos detalles sobre los métodos empleados por las comisiones de límites en cada clase de observacion.

Latitud.—La idea jeneral del método por pequeñas diferencias de distancias cenitales de parejas de estrellas que culminan a ambos lados del cenit, queda bosquejado en el párrafo anterior; este método es tambien recomendado en el libro de *Consejos a los viajeros* (1), que lo describe brevemente. La idea de la aplicacion *esclusiva* de este método con un teodolito tránsito comun para la determinacion sistemática i exacta de latitudes, me ocurrió al estudiar los resultados obtenidos por el método de Talcott con el telescopio cenital. Me convencí de que las principales ventajas del método podian ser retenidas en una medida razonable, sin necesidad de valerse de un instrumento especial i molesto, con tal que el observador pudiera disponer de un número de estrellas mucho mayor que el que dan las efemérides, i con tal que todo el trabajo preparatorio que pudiera hacerse con anticipacion, lo fuera, dejándole al observador lo ménos posible. La esperiencia posterior ha justificado esta opinion. La práctica de la operacion se ha conducido como sigue:

Conocida que sea la latitud de la estacion astronómica con algunos minutos de aproximacion, así como la hora local con algunos segundos, resultado que se logra con una observacion meridiana u otra igualmente sensible, lo primero es formar una lista de todas las estrellas del catálogo que culminan despues de oscurecer, durante unas tres horas, i arreglarlas en parejas de manera que de cada pareja una estrella culmine al norte i

(1) Publicado por la Real Sociedad Jeográfica de Lóndres.

la otra al sur del cenit, a distancias que no difieran en mas de 1 o 2°, i con un intervalo de tiempo entre ámbas culminaciones que no exceda de quince minutos. Esta lista preparatoria se hace fácilmente con ausilio del mapa celeste de que he hablado, donde se puede trazar la trayectoria del cenit, i la seleccion de las parejas a la vista, o por medio de una escala de minutos Es siempre posible obtener mas de dos parejas de estrellas, con frecuencia hasta ocho o doce en dos o tres horas.

Se inscriben en un formulario impreso los datos necesarios para las observaciones durante la estadía en la estacion, esto es: nombre de cada estrella, hora de culminacion, lectura aproximada del círculo vertical en sus dos posiciones, habiéndose calculado estos datos en vista de los del catálogo i de la latitud aproximada. Esta primera lista puede prepararse con varios dias de anticipacion con tal que se conozca la marcha del cronómetro o reloj. Un buen reloj comun es suficiente para este propósito.

Poco ántes de principiar las observaciones, si el cielo está despejado, se puede proceder a inscribir de una vez en el formulario de observacion, las parejas que se han de observar esa noche, así como las lecturas aproximadas del círculo vertical en la posicion derecha o izquierda, en que ha de leerse para cada pareja, así como la hora del reloj para cada observacion. Si el cielo está algo nublado, es preferible esperar hasta pocos minutos ántes de cada culminacion para ver si hai posibilidad de observarla, ántes de inscribir los datos.

El instrumento debe estacionarse de dia sobre una estaca i debe elevarse tambien otra estaca, a 100 o mas metros en la direccion del meridiano, obtenida aproximadamente con la brújula i el conocimiento de su declinacion. Esta estaca es mui conveniente para restablecer la direccion del meridiano, i volver a estacionar el teodolito, si por algun incidente se ha movido.

Con respecto a la colocacion del nonio del círculo vertical, hai que observar que, siempre que sea posible, la diferencia de distancia cenital entre las dos estrellas de cada pareja no ha de exceder la carrera del tornillo de tanjencia, en cuyo caso puede darse a dicho nonio la posicion intermedia entre las dos lecturas, i éstas pueden así hacerse sin aflojar el tornillo de presion.

Estando todo listo, se busca cada estrella algo al este del meridiano, poco minutos ántes de su culminacion, i se mantiene sobre el hilo horizontal hasta que ésta se produce, por medio del tornillo de tanjencia. El observador no debe perder de vista el nivel de precision, i debe hacer lecturas de la burbuja tan cerca como sea posible del momento de la culminacion; se anotan tambien las lecturas de ámbos nonios. Finalmente, se hacen tambien lecturas del termómetro i barómetro una vez en cada noche, para las correcciones de refraccion.

La importancia de conocer de antemano la latitud con cierta aproximacion es obvia; si no seria fácil equivocar la estrella, tratándose de las de pequeña magnitud. Dicho conocimiento sirve tambien para evitar que haya mucha diferencia entre las lecturas preparadas i las realmente observadas.

El cómputo de los resultados, por este método, suministra una comprobacion de la exactitud de cada observacion i de los cálculos, pues cada culminacion produce un resultado separado, el promedio otro, miéntras que el valor aceptado se calcula por la fórmula

de la diferencia de distancias cenitales, en que figura la refraccion diferencial. Todo el cálculo, hecho sobre los formularios preparados, no exije mas de dos minutos para cada pareja de estrellas.

Aunque, en rigor, esta clase de observaciones no es sólo aplicable con el teodolito, ¡ podria practicarse con el sextante, los resultados no son tan satisfactorios, salvo para un observador especialmente adiestrado, pues se hace mui difícil identificar pequeñas estrellas con ese instrumento; podria decirse, en jeneral, que con el sextante no es posible observar sino las estrellas de gran magnitud.

Por otra parte, cuando haya que ejecutar un gran número de observaciones de latitud, se puede alcanzar resultados mas precisos que con un teodolito de 6 pulgadas, siempre que sea admisible el gasto de un instrumento especial, por medio de un pequeño instrumento portátil, ideado por mí i llamado «sector cenital.»

Las piezas esenciales de ese instrumento son: 1.° un cuadrante fijo de bronce, dividido solamente en grados, en cualquier punto del cual puede fijarse la segunda pieza; 2.° un sector movible de 5°, de 20 cm de radio, con un nonio que aprecia los 5″; 3.° un anteojo astronómico de foco fijo con un largo ocular de reflexion, iluminado interiormente por una lamparilla eléctrica; 4.° una ampolleta de nivel de precision con divisionos de 5″, fija a una primera placa horizontal que descansa por medio de tres tornillos de paso fino sobre la pieza siguiente, 5.° una placa de base, provista de otro juego de tornillos nivelantes de paso comun i de un limbo horizontal graduado sólo en grados, finalmente, 6.° un trípode fijo de diagonales empernadas, de una altura conveniente para que el observador esté sentado.

Hai actualmente tres de estos sectores en uso en nuestras comisiones; son livianos, se estacionan fácilmente i son mas cómodos para observar que el teodolito. Para averiguar el grado de precision del primero de estos sectores cenitales, construido segun mi dibujo por Troughton i Simms (de Lóndres) en 1895, se determinó la latitud del Observatorio de Santiago, con los siguientes resultados:

Fecha	Núm. parejas	Err. prob. (1)	Err. efect. (2)
		″	″
Noviembre 14 —1895	5	1,9	1,5
» 21 — »	3	0,4	1,4
» 30 — »	8	0,9	0,8
Diciembre 1.°— »	9	1,2	1,7
» 3 — »	5	1,8	0,3
Promedios	6	1,2	1,1

(1) Calculado por los cuadrados menores
(2) Obtenido por diferencia con latitud conocida del Observatorio.

Estos resultados demuestran que se puede obtener la precision de 1″ en una sola noche i en buenas condiciones de observacion por medio del sector cenital. En el campo, como es de esperarlo, hai mayor márjen de error, desde que con un fuerte viento u otras circunstancias desfavorables, pueden ocurrir mui bien errores aislados de 10″. Sin embargo, se alcanza comunmente a la precision de 1″ con diez a doce parejas de estrellas.

El teodolito de 6 pulgadas da una precision como la mitad de la del sector cenital.

Antes de pasar a otro punto, será talvez oportuno mencionar respecto de las latitudes dos causas de error que escapan a la eliminacion i a la compensacion. En realidad se trata mas bien que de *errores*, de las *discrepancias* que en realidad existen entre la latitud jeodésica i la astronómica de una localidad dada. Las causas de estas discrepancias son la atraccion de las masas montañosas i la variabilidad del eje polar terrestre. Debido a la primera de estas causas, la plomada se desvia de la vertical (o gran normal jeodésica) i en consecuencia el cenit aparente no coincide con el verdadero, quedando así afectadas de error todas las medidas de arco hechas sobre los limbos verticales de los instrumentos de observacion. El valor de los errores o discrepancias que provienen de esta causa sobrepasa con mucho al grado de precision obtenido con nuestros instrumentos en la determinacion de latitudes, alcanzando aquél a 10″ i mas. Ha sucedido que la diferencia entre las latitudes astronómicas de dos puntos separados por una alta cadena de montañas ha excedido de la verdadera distancia obtenida por medida directa, hasta en 25″.

En cuanto al error en latitud causado por el movimiento del eje terrestre, no excede en caso alguno de medio segundo: sólo puede tomarse en cuenta para esplicar pequeñas diferencias en determinaciones precisas de latitud hechas en una misma localidad, en diferentes épocas del año.

Azimut.—Los mismos principios que han conducido a la adopcion del método de las diferencias de distancias cenitales para la latitud, han conducido tambien a la adopcion del de las elongaciones o digresiones máximas de estrellas para el azimut.

Me refiero, no sólo a la eliminacion de errores i a la preparacion de los elementos de observacion, sino tambien al hecho de que en ámbos casos las observaciones no son instantáneas i que la hora de éstas sólo se determina como elemento preparatorio, pero no figura en los cálculos.

Hai, sin embargo, una diferencia importante entre los dos casos, respecto a las posibilidades de observacion: Toda estrella pasa forzosamente por una *culminacion*, o retrogresion en el sentido de la altura, i siendo visible en ese momento, se presta a una observacion sin mas restriccion que la de evitar alturas bajas en atencion a los errores de refraccion. No sucede lo mismo respecto de la *máxima digresion*, o sea retrogresion en el sentido del azimut, desde que todas las estrellas que no pasan entre el polo aparente i el cenit tienen un movimiento contínuo i sin retrogresion en azimut. A este propósito observaré que, aunque se habla jeneralmente de la elongacion de estrellas *circumpolares*, esta espresion debe entenderse, en este caso, como designacion de estrellas cuya culminacion superior tiene lugar entre el polo i el cenit, i no en el sentido que se le da comunmente, de hallarse sobre el horizonte en su culminacion inferior. Síguese de aquí que las oportunidades de observar por este método son tan mayores cuanto menor la latitud

A medida que nos alejamos del Ecuador, no sólo dismuye el número de estrellas que pasan por una digresion máxima, sino que las condiciones en que se ha de observar cada elongacion se hacen mas i mas desfavorables porque aumenta la altura a que tiene lugar el fenómeno, i aumenta de consiguiente los riesgos de errores instrumentales en el azimut resultante.

Fuera de ésto, la práctica del método es mui semejante a la que se ha descrito para la latitud, con la diferencia de que las lecturas se hacen sobre el limbo horizontal en vez del vertical.

La inscripcion de los datos relativos a la prediccion del fenómeno en los formularios impresos es mas complicada que en el caso de la latitud, debido al hecho de que haciéndose la observacion fuera del meridiano, hai que determinar la posicion del nonio en el limbo horizontal. Por otra parte, no hai necesidad de formar parejas, i aun cuando esto se haga por simetría, no hai restriccion alguna respecto a la diferencia de azimut entre las estrellas de cada pareja, no habiendo refraccion que eliminar.

La seleccion de las estrellas por observar se hará mejor, como en el caso de la latitud, sobre el mapa estelar, donde es fácil determinar la posicion del meridiano local i del 6.° círculo horario, a la hora del crepúsculo, las que consideradas en conexion con la trayectoria del cenit sobre el mismo mapa, permitirán encontrar las estrellas convenientes, a cortas distancias del dicho círculo horario, que van en aumento en la latitud.

Los elementos que hai que determiaar para dirijir el anteojo, en el momento oportuno, sobre la estrella que se desea observar, son: la hora, el azimut i la altura. Cada uno de estos elementos se halla fácilmente por una simple fórmula; pero cuando hai que hacer una lista completa es mas espedito hacer uso de las tablas gráficas que hemos preparado para nuestro caso. En estos diagramas pueden medirse directamente, para el momento de la elongacion, el ángulo horario, la diferencia de altura entre la estrella i el polo sur, i la diferencia entre su azimut i su distancia polar. Las variaciones de estos tres elementos con la latitud son siempre relativamente pequeñas, i pueden fácilmente figurarse a una escala suficiente para obtener con correccion los minutos, tanto en hora como en arco, lo que es suficiente para el objeto de la prediccion.

En cuanto a la observacion, es necesario tener presente que su objeto final es hallar la verdadera direccion de una línea dada en el terreno. En consecuencia, débese siempre desplegar el mayor cuidado en marcar esa línea de dia con dos estacas, una sobre la cual se estaciona el instrumento, i la otra por lo ménos a 100 mt de distancia para no tener que variar el enfocamiento sideral del anteojo, al dirijirle visuales de noche.

En nuestro trabajo, los azimutes verdaderos se han determinado con un mínimum de cuatro observaciones, dos de elongaciones orientales en cada posicion del círculo vertical, i dos de elongaciones occidentales en idénticas condiciones, con el objeto de eliminar errores sistemáticos e instrumentales como en el caso de la latitud. No se puede alcanzar, sin embargo, la misma precision en los resultados como en este último caso, debido a que pequeños errores en la verticalidad del eje del instrumento afectan a los azimutes mucho mas que a las alturas, i tanto mas cuanto mas cerca del cenit se haga la observacion, de manera que pueden ocurrir errores individuales de un minuto i mas. Con

todo la precision obtenida con dos parejas de elongaciones es suficiente para el objeto de la poligonacion.

Los cálculos para obtener los azimutes de los lados de la poligonal se hacen en dos formularios: el primero para obtener el azimut de la línea de referencias del instrumento, i el segundo para obtener los azimutes de los lados, deducidos de dicho primer azimut i de los ángulos sucesivos de estacion. Como intervienen muchas estaciones de la poligonal entre dos estaciones astronómicas, siempre resultará una diferencia entre el azimut observado del primer lado que sigue a una estacion astronómica i el obtenido por trasporte desde la anterior. Esta diferencia es debida a dos causas: la converjencia de los meridianos, i los errores de centraccion en observacion en los vértices sucesivos. La correccion por converjencia de meridianos se calcula por la sencilla fórmula conocida, basándose en una diferencia de lonjitud aproximada deducida del cróquis hecho con rumbos magnéticos. La diferencia residual se considera como suma de errores accidentales i se reparte por igual entre los ángulos intermedios.

El rumbo magnético de cada lado es rejistrado, i se obtiene por cálculo su verdadero azimut, así como la diferencia entre ámbos que se inscribe como un dato importante para propósitos ya mencionados.

Para dar una idea del grado de precision alcanzado en este trabajo, diré que en un polígono de 160 lados, con un promedio de un azimut astronómico por cada 10 lados, el promedio de error entre dos estaciones astronómicas sucesivas, fuera de la converjencia de meridianos, fué 1'30", habiendo alcanzado el error aislado máximun a 3'20".

Determinacion de la hora. — Observaciones para hallar la hora media local se hacen jeneralmente el primer dia de estadía en cada campamento. Estas observaciones se hacen por alturas aisladas o correspondientes del sol o estrellas, segun el caso, con el único objeto de tener el estado i el andar de los relojes, i no requieren mas precision de la que demanda la prediccion de las culminaciones i elongaciones.

Acerca de este punto haré sólo dos observaciones. La primera se refiere a los relojes mismos. Hemos probado los cronómetros de bolsillo, tanto ingleses como suizos, i me he formado la conviccion de que, durante una espedicion a lomo de animal, no prestan mejor servicio que un buen reloj comun, cuyo costo es veinte veces ménos. Miéntras los cronómetros i relojes han estado juntos en observacion en el Observatorio Astronómico, la marcha de los primeros ha sido jeneralmente mas regular que la de los segundos; pero durante la campaña han pasado las cosas al reves, de tal manera que un buen reloj Waltham de regular dimension ha dado resultados mas seguros i satisfactorios para nuestro propósito.

La otra observacion se refiere al método acostumbrado de hallar el estado i el andar del reloj por alturas iguales del sol, que en el caso de nuestras comisiones ha sido jeneralmente observado con sextante montado sobre un pié i con horizonte mercurial. Como se sabe, la posicion media del sol requiere una correccion llamada «ecuacion de alturas correspondientes», para quedar reducida al meridiano. Esta ecuacion se compone de dos términos, uno de los cuales varía con la declinacion del sol, i el otro con ésta i la latitud, de manera que ámbos cambian de signo dos veces en el año. Siendo el valor de la ecuacion siempre pequeño, no es fácil descubrir un error de signo que se haya deslizado.

Cuando este método se haya de aplicar en grande escala, como lo hemos hecho, es fácil a la par que conveniente tener una comprobacion del signo i valor de ámbos términos de la ecuacion. Esto lo hemos conseguido con dos diagramas donde se pueden leer dicho signo i valor para cada dia del año. Hai que advertir que, para dar resultados correctos los diagramas sólo servirian para un año dado, i el segundo sólo para una latitud dada; pero las diferencias entre un año i otro no pasan de uno o dos décimos de segundo, i la correccion para diferentes latitudes se puede hacer con una escala agregada al segundo diagrama. La escala de los diagramas permite hacer lecturas hasta centésimos de segundo.

Para determinaciones de lonjitud, sin embargo, la hora media local debe de ser conocida con la mayor precision posible en el momento de la observacion; los efectos del andar del reloj deben reducirse a un mínimun, esto es las observaciones para obtener la hora i para obtener la lonjitud deben ser tan simultáneas como las circunstancias lo permitan. Esto se consigue jeneralmente por observaciones aisladas de estrellas antes i despues de la observacion por la lonjitud, para que pueda hacerse uso del mismo reloj; aun se han observado alturas correspondientes de una misma estrella cuya culminacion tenia lugar a la hora en que se haria la observacion por lonjitud. Pero existe otro método que hemos introducido recientemente, el cual creo que puede dar tan buenos resultados en la determinacion de la hora, como los que he descrito los dan para la latitud i azimut, porque está fundado en los mismos principios. Por este método, la hora se deduce de observaciones hechas sobre una pareja de estrellas de declinacion casi igual, hechas respectivamente un poco ántes i un poco despues del momento en que la estrella ascendente i la descendente alcanzan ámbas una misma altura, a ámbos lados del meridiano.

Para penetrarse bien de la práctica i ventajas de este método, serán convenientes algunas esplicaciones. Concibiendo dos estrellas cuyas ascenciones rectas difieran en algunas horas, que tengan exactamente la misma declinacion, si se rejistra la hora que marca un reloj dado en el momento preciso en que tengan igual altura, es evidente que siendo la hora sideral en el momento de igual altura, equivalente al promedio de las ascenciones rectas de los dos astros, el estado del reloj podria deducirse inmediatamente. Ahora, si bien es verdad que no es posible formar parejas de estrellas que tengan exactamente la misma declinacion, es posible sí formarlas con estrellas cuya diferencia de declinacion sea pequeña, i es tambien posible introducir correcciones análogas a la ecuacion de alturas correspondientes. Igualmente, si bien es cierto que no es materialmente practicable observar simultáneamente las dos estrellas en el momento físico en que alcanzan igual altura, lo es sí, observarlas a una altura un poco mayor (o menor), es decir, observar la estrella oriental algunos minutos ántes, i la occidental el mismo número de minutos despues de ese momento físico (o a la inversa). Correcciones apropiadas introducidas por medio de tablas permiten obtener la hora de ese momento con un breve cálculo.

El método que acabo de bosquejar está descrito en algunos tratados de astronomía, pero creo que no se ha aplicado en la escala que merece serlo, por cuanto los elementos de correccion tienen que ser reducidos a tablas para las latitudes que se va a observar. Solamente en los casos que envuelven un gran número de observaciones, quedarán compensados el trabajo i el tiempo empleados en tales preparativos por el consiguiente

ahorro, especialmente de tiempo, cuando se hagan las observaciones en el terreno i por este método.

Para el caso especial de Chile, se han preparado tablas que incluyen ciento cuarenta i cinco estrellas fundamentales de magnitudes superiores a la 5ª, agrupadas en doscientas parejas, no pasando de 2° la diferencia de declinacion para las dos estrellas de cada pareja, i siendo de siete minutos el promedio de los intervalos entre los momentos de igual altura para dos parejas sucesivas.

Las observaciones pueden practicarse con un sextante o con un teodolito tránsito comun, pero se alcanza mayor precision i facilidad con el sector cenital ya descrito, especialmente si se le han agregado al retículo hilos adicionales tales que el intervalo entre los hilos estremos sea un número redondo de segundos. Con un instrumento arreglado así se procede como sigue:

Se elije un número de parejas en la lista, de manera que no se sobrepongan una a otra: por ejemplo, si se ha de observar la estrella oriental de cada pareja tres minutos ántes del momento de igual altura, i la occidental tres minutos despues, se deberá dejar siete a ocho minutos entre los momentos de igual altura de dos cualesquiera parejas consecutivas de la lista de observacion.

Se calcula aproximadas al minuto las lecturas de los círculos horizontal i vertical, así como las horas por medio de las tablas especiales, i se inscriben en el formulario de prediccion El sector cenital usado en nuestro caso estaba provisto de cinco hilos horizontales, siendo el intervalo entre el primero i el quinto, de 1 000″ de arco. Se le da al sector la altura correspondiente para observar cada pareja, i se horizonta cuidadosamente la ampolleta de precision para cada estrella, teniendo cuidado de no mover el tornillo de tanjencia del sector durante la observacion de cada pareja. Se rejistra la hora de la bi-seccion de cada estrella por cada uno de los hilos, tambien se hacen lecturas de la burbuja ántes i despues de cada observacion; siendo las divisiones de la ampolleta de 5″, es fácil calcular su valor correctivo en fracciones de segundo de tiempo para cada pareja, i aplicarla a cada caso. Las semisumas de los promedios correjidos de todas las bi-secciones observadas para cada estrella constituye el rejistro final. Como todas las estrellas de la lista figuran en las efemérides francesas e inglesas, las declinaciones i ascenciones rectas para el dia de observacion se toman de allí, i por medio de breves cálculos que se facilitan por el uso de las tablas especiales, se obtiene el estado del reloj deducido de la observacion de cada pareja.

Una prueba de este método, fué hecha en el Observatorio de Santiago el 28 de noviembre de 1897, se observaron cinco parejas en el trascurso de una hora; la diferencia estrema entre los cinco resultados fué un cuarto de segundo, i el error probable del resultado de las cinco observaciones ménos de 1/10 de segundo.

Lonjitud. —Entre los paralelos 23 i 41° hai unas veinte localidades donde se ha determinado la lonjitud por medio del telégrafo eléctrico; estos puntos se han tomado como puntos de partida de las principales poligonales parciales.

La operacion de determinar la lonjitud por la trasmicion eléctrica de la hora se encuentra descrita en los textos de astronomía, me limitaré pues a consignar algunas observaciones sujeridas por nuestra esperiencia acerca de este punto.

La hora en que puede obtenerse la trasmision es de 9 a 11 de la noche, a cuya hora habiéndose dado aviso previo a las oficinas intermedias, queda la línea libre i se establece la comunicacion directa entre el lugar de observacion i el Observatorio Astronómico de Santiago, donde las señales se rejistran cronográficameete. Un rejistro separado se lleva, naturalmente en el iugar de observacion, usando un buen reloj o un cronómetro de bolsillo. A este respecto observaré que no siendo el golpe de éstos una fraccion cabal de segundo, es mui conveniente tener a la mano un cronómetro de marina fuera de uso, al único efecto de dar el compas de los golpes. Este cronómetro se trasporta sin cuerda i con el volante inmovilizado. Se le da cuerda algunas horas ántes de la de trasmision i se usa sólo durante esta operacion para seguir su compas con el manipulador del telégrafo, golpeando con éste los medios segundos que son así rejistrados en el cronógrafo receptor del Observatorio; pero en el lugar de observacion se rejistran las horas que marca *el reloj* al primer i último golpe de cada serie de diez segundos. Cuando no ocurre algun tropiezo o interrupcion, toda la operacion de cambiar varias series en uno i otro sentido, se ejecuta fácilmente en una hora.

Como la hora de trasmision es siempre conocida de antemano, el método para determinar la hora que he descrito, resulta mui apropiado para lonjitudes, porque es fácil elejir parejas de estrellas de tal manera que quede eliminado el efecto de la marcha del reloj. Si un mismo observador hace el trabajo astronómico i la trasmision eléctrica, podrá observar cuatro parejas de estrellas, dos ántes i dos despues de la trasmision de señales; con dos observadores, se pueden observar cinco parejas al mismo tiempo que se hacen las trasmisiones. En el último caso, se puede considerar que, prácticamente, la marcha del reloj no tendrá influencia alguna en la precision de la lonjitud obtenida. En estas condiciones podrá decirse, en verdad, que todas las causas de error, salvo la diferencias de ecuacion personal entre los dos observadores han sido eliminadas. No hai que olvidar, sin embargo que, como la latitud, la hora local en que se basa la determinacion de lonjitud, queda tambien afectada por las desviaciones locales de la plomada.

Seria necesaria una triangulacion exacta entre dos puntos para averiguar los errores efectivos en que se ha incurrido al determinar la diferencia de lonjitud entre los mismos por la trasmision eléctrica de la hora. Hemos obtenido, sin embargo, una comprobacion no despreciable del grado de precision de que es susceptible el método combinado de rodeo jeodésico i posiciones astronómicas, al unir durante la última temporada (1899) dos polígonales cuyos oríjenes distan mas de 700 kilómetros, siendo el error resultante en lonjitud de 19″, o sean unos 400 m, lo que hemos considerado satisfactorio para los propósitos de nuestro trabajo, cuyo plano orijinal es a la escala de 1: 100 000.

Cerca de 2 000 kilómetros de redes poligonales han sido medidas en los valles andinos, dentro de los últimos seis años por las comisiones chilenas de límites, por los métodos que dejo espuestos. Esperamos, en el curso del presente año (1900), completar la conexion entre las últimas secciones poligonales en la parte mas austral del territorio que abarca el levantamiento: así dejaremos establecida una base segura sobre la cual podrán apoyarse los futuros trabajos parciales, en cualquier punto de nuestro perímetro poligonal; con tal objeto se publicarán las posiciones jeográficas de los puntos principales del cánevas.