

CHILE

INFORME QUE PRESENTA EL INSTITUTO GEOGRAFICO
MILITAR CON MOTIVO DE LA V. ASAMBLEA DE LA
ASOCIACION INTERNACIONAL DE GEODESIA DE LA
UNION GEODESICA Y GEOFISICA INTERNACIONAL
CELEBRADA EN LISBOA EN SEPTIEMBRE DE 1933



INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
CHILE

OPERACIONES GEODESICAS EN CHILE

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR:

EXPOSICION DE LOS METODOS Y SISTEMAS EMPLEADOS EN LOS TRABAJOS GEODESICOS Y CARTOGRAFICOS.

RESEÑA DE LA LABOR EJECUTADA EN EL PERIODO 1930 - 1933.

MINISTERIO DE HACIENDA—SECCION CATASTRO:

TRABAJOS GEODESICOS EJECUTADOS EN LA REGION SALITRERA—RESEÑA HISTORICA Y DATOS DE LA TRIANGULACION.

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

PREFACIO

En el Instituto Geográfico Militar, que en el país tiene a su cargo la ejecución y control de los trabajos geodésicos y de todo lo relacionado con el levantamiento general de la carta topográfica, ha repercutido en forma especialmente sensible la aguda crisis que afecta, desde 1930, al Erario de la República de Chile, que para equilibrar sus presupuestos ha debido reducir al minimum los gastos de sus servicios públicos en general.

A este servicio le ha sido asignado un presupuesto sólo suficiente para mantener su estructura orgánica, con la consecuencia de haber sido necesario paralizar todo trabajo que signifique

CHILE

un desembolso extraordinario o demande un empleo de numeroso personal, como lo son y lo exigen las operaciones en el terreno.

Esta exigüidad de medios ha impedido cumplir la pauta trazada por la Dirección del servicio de levantamiento, y conservar el ritmo de trabajo de épocas anteriores.

Como un remedio a la estagnación sufrida por esta carencia de fondos para el levantamiento regular de la carta, se han tomado las medidas conducentes para efectuar un levantamiento provisorio a 1 : 100000, que junto con suplir en parte la falta de la carta regular, servirá de ayuda en el futuro para el levantamiento de ella, el que se proseguirá tan pronto se cuente con los medios indispensables.

I.—Medición de bases

No se han hecho.

I. bis.—Triangulaciones

A fines del año 1930 se inició una verificación del reconocimiento hecho en años anteriores y una revisión de las señales de la red N.º 4, cuya superficie es de 20000 kilómetros cuadrados aproximadamente, abarcando las provincias de Ñuble, Concepción y Bío-Bío.

Las señales están constituídas por pilares de cemento armado de 1,10 m. de altura, siendo su plataforma superior de 0,40 por 0,40 m.

A fines de la campaña se iniciaron las observaciones azimutales de esta red, alcanzándose sólo a estacionar en 3 vértices trigonométricos. Por este motivo, los antecedentes relacionados con las operaciones mencionadas no se publicarán hasta la total terminación del trabajo.

II.—Nivelación de precisión

Capítulo I.—Antecedentes generales.—Actualmente se cuenta con un polígono de 400 kms. señalizado en su totalidad y nivelado en una extensión de 112,2 kms.

Este polígono parte de la ciudad de Santiago hacia el Oeste pasando por el pueblo de Melipilla hasta llegar al Puerto de San Antonio; sigue al Sur y Sur-Este pasando por los caseríos de San Pedro y El Manzano hasta llegar al pueblo de Las Cabras. Des-

CHILE

de este punto dobla al Este hacia los pueblos de San Vicente y Pelequén donde toma el camino principal al Norte, pasando por las ciudades de Rengo, Rancagua, Buin y San Bernardo, hasta terminar en Santiago.

Además de este trabajo se construyó en el año 1932 el Punto Normal de Altura o Cero Normal, en el Aeródromo "Los Cerrillos", situado al Oeste de Santiago. Esta construcción consta de un sólido pilar de concreto, subterráneo, de 10 metros de fundamento, y otros 3 pilares de control, formando un triángulo equilátero. Este punto se ha enlazado con un antiguo cero (nivel medio del mar) existente en el puerto de San Antonio y determinado por una Comisión de Estudios de Puertos.

La falta de fondos, como consecuencia de la restricción del Presupuesto de la Nación, ha impedido la señalización y nivelación de nuevos polígonos para formar las redes que deben cubrir el país. Dichas redes se encuentran en proyecto y cubrirán el país según su red caminera.

Capítulo II. A.—Estadística de las nivelaciones de alta precisión.—Los 112,2 kms. nivelados desde la ciudad de Santiago al puerto de San Antonio, se ejecutaron durante el año 1931 y el enlace con el punto Normal de Altura en el año 1932.

Estas nivelaciones han sido ejecutadas dos veces en dos direcciones.

Las señales colocadas son 202 pilares de concreto y de granito (de más o menos 40 x 40 x 80 cmts. enterrados 60 cmts. bajo la tierra).

Los errores obtenidos en la línea nivelada son los siguientes:

Error probable accidental, por Km. calculado por la fórmula:

$$N_r^2 = \frac{1}{9} \left[\frac{[\Delta^2]}{[L]} - \frac{[r^2]}{[L]^2} \cdot \Sigma \frac{S^2}{L} \right]$$
$$N_r = \pm 0,64 \text{ mm}$$

Error probable sistemático por Km. calculado por la fórmula:

$$\sigma_r^2 = -\frac{1}{9} [L] \cdot \Sigma \frac{S^2}{L}$$
$$\sigma_r = \pm 0,05 \text{ mm.}$$

Capítulo II. B.—Estadística de las nivelaciones de precisión.—Ante la imposibilidad de efectuar trabajos de Nivelación de Alta Precisión, en el año 1932, se ejecutó dentro de la ciudad de Santiago, una Nivelación de Precisión, a lo largo de sus principales arterias y consta de una red de 5 polígonos y 4 líneas.

CHILE

El método empleado es el mismo que se empleó en Nivelación de Alta Precisión.

Los 5 polígonos y las 4 líneas tienen una longitud de 50,7 kms.

El total de señales en esta nivelación es de 11 pilares de granito y 17 señales de fierro empotradas en edificios o construcciones sólidas.

Los errores obtenidos en los 5 polígonos nivelados son los siguientes:

Polígono	I	II	III	IV	V
Error accidental probable	0,67	1,30	0,23	0,49	0,52
Error sistemático probable	0,05	0,20	0,26	0,28	0,14

Capítulo III.—Los instrumentos empleados han sido equipos de Nivelación “Hildebrand”, con una sensibilidad de 4”, 13 y 4”, 32.

Las señales colocadas están descritas en el Capítulo II.

Los métodos de trabajo son los señalados anteriormente.

Capítulo IV.—No ha sido posible observar cambios en la altura del suelo, por ser muy recientes los trabajos ejecutados.

Capítulo V. A.—Se ejecuta actualmente la compensación de los polígonos de la ciudad de Santiago. El método seguido y resultados obtenidos se darán a conocer una vez terminadas las operaciones.

Capítulo V. B.—Unión de redes no se ha hecho, por la poca extensión de los trabajos ejecutados.

Capítulo VI.—Observaciones mareométricas no se han efectuado.

Capítulo VII.—No se han hecho publicaciones recientes de Nivelación.

Capítulo VIII.—No hay cartas de redes de Nivelación.

Proyecciones

El Instituto Geográfico Militar ha elegido un punto origen de coordenadas, que se encuentra ubicado en la ciudad de Santiago, en el edificio del antiguo Observatorio Astronómico.

CHILE

Quinta Normal, y determinado exactamente por el centro de un pilar de granito construído especialmente para ese objeto.

Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Latitud: $33^{\circ} 26' 42''$, 2218 Sur.

Longitud: $70^{\circ} 41' 33''$, 9726, Oeste de Greenwich.

En consecuencia, los ejes del sistema se han constituído por el meridiano que pasa por el origen (eje de las abscisas) y por la perpendicular levantada a este meridiano por el mismo punto (eje de las ordenadas), siendo su sentido positivo el indicado por las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, respectivamente.

El eje de las abscisas, corre a lo largo del territorio, dividiéndolo en dos fajas aproximadamente iguales. Los puntos que más se alejan de este meridiano son:

I. Hacia el Este: el Nevado de Poquis, a 5760 m. de altura, situado a 120 Kms. más o menos al Oriente de San Pedro de Atacama, exactamente en la intersección del paralelo 23° con el meridiano 67° Oeste Greenwich; y la Isla Nueva, al Oriente de la Isla de Navarino, correspondiéndole $55^{\circ} 15'$ de latitud y $66^{\circ} 30'$ de longitud Oeste de Greenwich.

II. Hacia el Oeste: la Península de Tres Montes en el Territorio de Aysen, con $46^{\circ} 50'$ de latitud y $75^{\circ} 30'$ de longitud geográficas.

Existe, en consecuencia, un máximum de diferencia de longitud equivalente a 9° ; por lo tanto, el meridiano que equidista de estos extremos corresponde a 71° ; muy próximo al que pasa por el punto origen de coordenadas que ha sido elegido.

En el sentido N. S. del territorio, los puntos que más se alejan del paralelo origen de nuestro sistema, son:

I. En el N.: el Hito N.º 80, fijado por la Comisión de Límites con el Perú, y común a las fronteras de Chile, Bolivia y Perú y que corresponde al Hito V de la antigua división de Chile con Bolivia. Situado a una altura de 4119 m., sus coordenadas geográficas corresponden a $17^{\circ} 29' 57''$ de latitud y $69^{\circ} 28' 28''$ de longitud.

II. En el S.: el Cabo de Hornos, situado aproximadamente a 56° de latitud y $67^{\circ} 20'$ de longitud.

El eje de las abscisas del sistema elegido, o sea nuestro meridiano central, pasa próximo a las siguientes ciudades, cuyas longitudes geográficas se indican: Arica, $70^{\circ} 20'$; Iquique, 70°

CHILE

10'; Antofagasta, 70° 22'; Taltal, 70° 35'; Copiapó, 71°; San Felipe, 70° 45'; Los Andes, 70° 35'; Rancagua, 70° 45'; y Magallanes, 70° 53'.

Al Oriente de San Carlos, el meridiano origen penetra al territorio argentino, para atravesar la Patagonia y entrar de nuevo a nuestro territorio en Magallanes, a la altura del paralelo 52°, en las proximidades del puerto de Magallanes (antes Punta Arenas).

El elipsoide de referencia empleado en los cálculos, es el de Bessel, 1841, con:

$$\text{semi - eje mayor : } \log a = 6, 8046434637$$

$$\text{semi - eje menor : } \log b = 6, 8031892839$$

A.—Trabajos geodésicos

El cálculo de coordenadas geográficas de los puntos trigonométricos, se hace por medio de las fórmulas de Schreiber, las cuales se indican en el anexo 1.

El sistema de proyección empleado en los cálculos es el conforme de Gauss.

En la triangulación de primer orden, se ejecuta la compensación de estaciones y compensación general de la red con direcciones geodésicas (elementos tomados sobre el elipsoide). En seguida, las direcciones geodésicas definitivas, obtenidas de la compensación, y las distancias geodésicas, se reducen a planas mediante las fórmulas indicadas en el anexo 2, con lo cual el cálculo de las coordenadas rectangulares se efectúa, finalmente, sobre el plano.

Las direcciones y distancias a los puntos de triangulaciones inferiores, se reducen a planas y se ejecuta así la compensación de los puntos sobre el plano, obteniéndose directamente sus coordenadas rectangulares conformes.

Cuando se calculan las coordenadas rectangulares conformes de puntos de los cuales se conocen sus coordenadas geográficas, se emplean las fórmulas indicadas en el anexo 3.

Las fórmulas que permiten calcular las coordenadas geográficas directamente de las coordenadas rectangulares conformes, son las indicadas en el anexo 4.

En los trabajos topográficos, se emplea el mismo sistema de representación, por lo cual las coordenadas rectangulares conformes sirven, al mismo tiempo, para el levantamiento.

B.—Trabajos cartográficos

Los sistemas de representación utilizados o proyectados para las publicaciones del Departamento Cartográfico son:

La Proyección conforme de Gauss.

La Proyección normal de Mercator.

La primera ha sido empleada para la confección de todos los mapas y cartas que se reproducen en el Instituto desde el año 1901.

Para calcular las coordenadas rectangulares, en el sistema de proyección conforme de Gauss, cuando se conocen las coordenadas geográficas del punto, y siempre que la escala sea mayor de 1:1.000.000, se emplean las fórmulas siguientes:

$$x = \sigma + \frac{N\lambda^2}{4} \operatorname{sen} 2\varphi - \frac{N\lambda^4}{24} \cos \varphi \operatorname{sen}^3 \varphi + \dots$$

$$y = N\lambda \cos \varphi + \frac{N\lambda^3}{6} \cos \varphi \cos 2\varphi + \dots$$

Si la escala es menor que 1:1.000.000, se emplea:

$$\begin{aligned} x - \sigma &= [5,57426] \lambda^2 \operatorname{sen} 2\varphi \\ y &= [4,68557] \lambda N \cos \varphi \end{aligned}$$

σ es el valor del arco del meridiano desde el Ecuador hasta la latitud deseada y se ha determinado mediante la fórmula:

$$\begin{aligned} \sigma &= [5,0457946544] \varphi - [4,2038114842] \operatorname{sen} 2\varphi + \\ &+ [1,22349474] \operatorname{sen} 4\varphi - [8,3381536] \operatorname{sen} 6\varphi + \\ &+ [5,48807] \operatorname{sen} 8\varphi - \dots \end{aligned}$$

en la cual φ del primer término se expresa en grados.

Los valores colocados entre paréntesis cuadrados son logaritmos.

Los mapas de Chile se construyen con un solo meridiano medio central, que pasa por el punto origen, porque las ampliaciones son prácticamente inapreciables en toda la región del país, ya que ningún punto se encuentra a más de 350 Km. del meridiano medio.

CHILE

La proyección Mercator se emplea desde el presente año en la confección de la Carta Aérea, dividida en 8 cuarterones:

1.—Arica - Iquique	Paralelo	18° 10'	a	20° 30'
	Meridiano	69° 40'	a	70° 43'
2.—Iquique - Antofagasta	Paralelo	20°	a	23° 25'
	Meridiano	69° 52'	a	70° 42'
3.—Antofagasta - Copiapó	Paralelo	23°	a	27° 25'
	Meridiano	69° 44'	a	71°
4.—Copiapó - La Serena	Paralelo	27°	a	30° 30'
	Meridiano	69° 48'	a	71° 50'
5.—La Serena - Santiago	Paralelo	29° 30'	a	33° 40'
	Meridiano	70° 38'	a	71° 16'
6.—Santiago - Concepción	Paralelo	33°	a	37° 30'
	Meridiano	70°	a	73° 58'
7.—Concepción - Temuco	Paralelo	36° 40'	a	38° 50'
	Meridiano	72° 10'	a	73° 26'
8.—Temuco - Puerto Montt	Paralelo	38° 30'	a	41° 50'
	Meridiano	72° 27'	a	73° 08'

Para el trazado del cánvas de cada cuarterón, se ha procedido en la siguiente forma:

Se determina cuál es el paralelo que pasa aproximadamente por el centro del cuarterón y se busca la longitud en metros de 1 minuto de este paralelo, que llamaremos *paralelo medio*. Con este dato se efectúa, desde luego, el trazado de los meridianos.

En seguida se procede al trazado de los paralelos. Para esto, se multiplica el valor en metros del minuto de paralelo medio por los coeficientes que proporcionan las *Tablas de latitudes crecientes de Friocourt*, con lo que se obtienen las distancias entre un paralelo y otro, de minuto en minuto. Los coeficientes de las tablas de Friocourt establecen la relación de longitud entre un minuto de meridiano y el minuto de paralelo medio, para una latitud cualquiera.

CHILE

Las tablas antes mencionadas están calculadas sobre la base de que la Tierra es una esfera. A la escala en que se ha hecho los cuarterones de la Carta Aérea (1:500000), los resultados obtenidos son iguales a los que se obtendrían si se utilizaran tablas o fórmulas especiales en que se considerara a la Tierra como un elipsoide.

La longitud del minuto de paralelo medio expresada en metros, se ha tomado de Tablas calculadas de acuerdo con los elementos del elipsoide de Bessel, según esta fórmula:

$$1' \text{ de paralelo} = N \cos \varphi \frac{\pi}{10800}$$

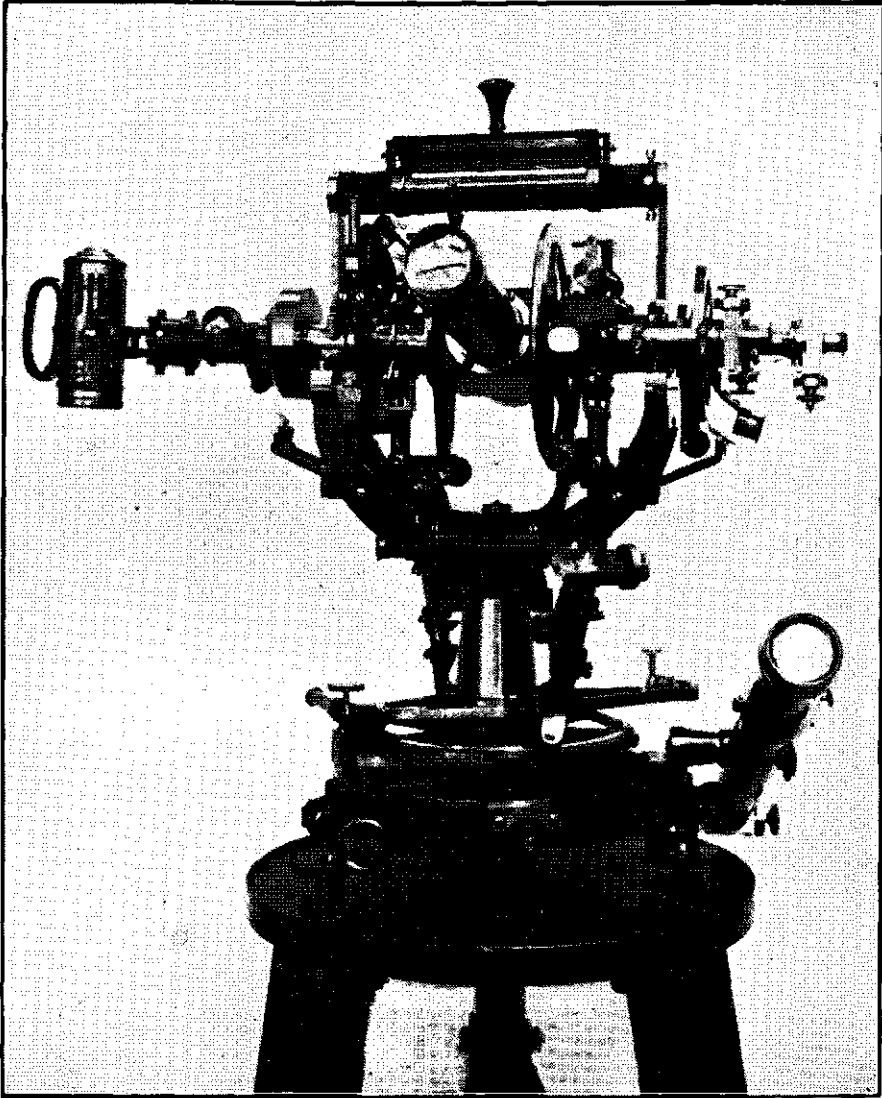
Los valores de las "latitudes crecientes o aumentadas" de Fricocourt se han determinado por la fórmula:

$$\log l_a = \frac{10800}{\pi} \log \operatorname{nep} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

El hecho de que para cada cuarterón se haya tomado un minuto de paralelo medio diferente, en lugar de tomarse un solo valor común a toda la Carta, ya fuera éste el paralelo medio de ella o el Ecuador, tiene una ventaja y un inconveniente. El inconveniente consiste en que los meridianos de una hoja cualquiera no calzan con los de la hoja que está al Norte, ni con los de la que está al Sur. Sin embargo, por tratarse de hojas de pequeño formato, que abarcan 3 y medio grados como máximo, las divergencias son pequeñas y no afectan a una utilización de conjunto de los cuarterones. Por lo demás, lo corriente es que se trabaje con cada hoja por separado.

La ventaja que se obtiene adoptando un paralelo medio para cada hoja, es que las distancias quedan deformadas al minimum, y esto es de una gran importancia.





Teodolito Bamberg de 21 cm, que se utiliza en las observaciones astronómicas.

Anexo N.º 1

Fórmulas de Schreiber para la determinación de la latitud φ la longitud λ y el azimut α , cuando se conocen las distancias y direcciones geodésicas:

Datos: $\varphi_1, \Lambda_1, \alpha_1, S$
 Incógnitas: $\varphi_2, \Lambda_2, \alpha_2$

$$\begin{aligned} \text{I -- Latitud: } \varphi_2 &= \varphi_1 + \xi - d \\ \log \xi &= \log [(1) u] - (4) u + (5) v^2 + (6) u^2 \\ \log d &= \log \Delta - m \tau^2 - \frac{1}{2} m \lambda^2 + (8) \tau^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{II -- Azimut: } \alpha_2 &= 180^\circ + \alpha_1 + t - \varepsilon \\ \log t &= \log \tau - m \tau^2 - m \lambda^2 + (7) \tau^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{III -- Longitud: } \Lambda_2 &= \Lambda_1 + l \\ \log l &= \log \lambda + v \tau^2 + v_1 \lambda^2 \tau^2 + v_2 \tau^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= S \cos \alpha_1 \\ v &= S \operatorname{sen} \alpha_1 \\ \Delta &= (3) \eta \tau \end{aligned}$$

$$m = 10^7 \frac{1}{6} \frac{\mu}{\rho^2 (1 - e^2)} \quad \log m = 5,2336912 - 10$$

$$\begin{aligned} \tau &= \eta \operatorname{tg} (\varphi_1 + \xi) \\ \lambda &= \eta \operatorname{sec} (\varphi_1 + \xi) \\ \log \eta' &= \log [(2) v] - \frac{1}{2} (5) u^2 \end{aligned}$$



η y ξ forman parte de un triángulo esférico rectángulo, en el que la hipotenusa es la distancia geodésica S ; η es el cateto formado por el plano vertical que pasa por φ_2 , perpendicular al meridiano que pasa por φ_1 , y ξ es el otro cateto, formado por la proyección de S sobre este meridiano.

$$v = 10^7 \frac{1}{3} \frac{\mu}{\rho^2} \quad \log v = 5,5318128 - 10$$

$$v_1 = 10^7 \frac{1}{15} \frac{\mu}{\rho^4} \quad \log v_1 = 4,20399 - 20$$

$$v_2 = 10^7 \frac{7}{90} \frac{\mu}{\rho^4} \quad \log v_2 = 4,27094 - 20$$

CHILE

(1) =	$\frac{\rho w^3}{a(1-e^2)}$	Argumento	φ_1
(2) =	$\frac{\rho w}{a}$	„	$\varphi_1 + \xi$
(3) =	$\frac{w^2}{2 \rho (1-e^2)}$	„	$\varphi_1 + \xi$
(4) =	$\frac{10^7}{4} \frac{3\mu c^2 w \operatorname{sen} 2\varphi}{a(1-e^2)}$	„	φ_1
(5) =	$\frac{10^7}{3} \frac{\mu w^4}{a^2(1-e^2)}$	„	φ_1
(6) =	$-\frac{10^7}{2} \frac{\mu e^2 \cos 2\varphi}{a^2}$	„	φ_1
(7) =	$m e^2 (3 - \operatorname{sen}^2 \varphi)$	„	$\varphi_1 + \xi$
(8) =	$\frac{1}{2} m e^2 (13 - 10 \operatorname{sen}^2 \varphi)$	„	$\varphi_1 + \xi$

$$w = \sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi}$$

$$e = \sqrt{a^2 - b^2}$$

Anexo N.º 2

Fórmulas para reducir las distancias y direcciones geodésicas a planas:

T = Dirección geodésica t = Dirección plana
S = Distancia geodésica s = Distancia plana

$$\begin{aligned} T_1 - t_1 &= + \tau_1 - \tau_2 & y_2 - y_1 &= s \operatorname{sen} t_1 \\ T_2 - t_2 &= - \tau_1 - \tau_2 & x_2 - x_1 &= s \operatorname{cos} t_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_1 &= (1) (x_2 - x_1) (y_1 + y_2) \\ \tau_2 &= (2) (x_2 - x_1) (y_2 - y_1) \end{aligned}$$

$$\log \frac{s}{S} = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= [1] (y_1 + y_2)^2 \\ \sigma_2 &= [2] (y_2 - y_1)^2 \end{aligned}$$

$$(1) = \frac{\rho''}{4 R N}$$

$$(2) = \frac{\rho''}{12 R N}$$

$$[1] = \frac{10^7 \mu}{8 R N}$$

$$[2] = \frac{10^7 \mu}{24 R N}$$

CHILE

Anexo N.º 3

Cálculo de las coordenadas planas por las coordenadas geográficas:

$$\log (x - B) = [9,07011973] \lambda^2 N \operatorname{sen} \varphi \cos \varphi + [4,929753] \lambda^2 \cos^2 \varphi (5 - \operatorname{tg}^2 \varphi + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) + [2,8238] \lambda^4 \cos^4 \varphi (61 - 58 \operatorname{tg}^2 \varphi + 4 \operatorname{tg}^4 \varphi) + \dots$$

$$\log y = [4,68557487] \lambda N \cos \varphi + [5,230783] \lambda^2 \cos^2 \varphi (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi + \eta^2) + [3,3009] \lambda^4 \cos^4 \varphi (5 - 18 \operatorname{tg}^2 \varphi + \operatorname{tg}^4 \varphi) + \dots$$

$$\log \gamma = \lambda \operatorname{sen} \varphi + [5,5318128 - 10] \lambda^2 \cos^2 \varphi (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4)$$

$$\log B = [4,68557487] R \Delta \varphi + [5,105844] \Delta \varphi^2 \frac{\eta^2}{V^2} (1 - \operatorname{tg}^4 \varphi + \eta^2 + 4\eta^2 \operatorname{tg}^4 \varphi)$$

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$V = \sqrt{1 + \delta^2 \cos^2 \varphi}$$

$$\eta^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \cos^2 \varphi$$

$$\delta^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

NOTAS—B es el arco correspondiente a la diferencia de latitud entre el punto cuyas coordenadas se calculan y el punto origen.

—Las cantidades entre paréntesis cuadrados son logaritmos.

Anexo N.º 4

Cálculos de las coordenadas geográficas y de la convergencia del meridiano por las coordenadas planas x e y:

LATITUD:
$$\varphi = \varphi_1 - (\varphi_1 - \varphi)$$

$$(\varphi_1 - \varphi) = y^2 \operatorname{tg} \varphi_1 \frac{\rho''}{2R_1 N_1} \left\{ 1 - \frac{y^2}{12N_1^2} [\text{I}] \right\}$$

$$[\text{I}] = 5 + 3 \operatorname{tg}^2 \varphi_1 + \eta_1^2 - 9\eta_1^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_1 - 4 \eta_1^4$$

$$\eta_1^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \cos^2 \varphi_1$$

En estas fórmulas φ es la latitud buscada del punto (x, y) de coordenadas rectangulares conocidas; y φ_1 es la latitud del punto de proyección de (x, y) sobre el meridiano origen.

Para encontrar el valor φ_1 se recurre a tablas que han sido calculadas según la fórmula que expresa el valor en metros del arco de meridiano comprendido entre el Ecuador y una latitud cualquiera.

$$x = [5,0457946.544] \varphi_1 - [4,2038114.842] \operatorname{sen} 2 \varphi_1 + \\ + [1,2234947.4] \operatorname{sen} 4 \varphi_1 - [8,3381536] \operatorname{sen} 6 \varphi_1 + [5,48807] \operatorname{sen} 8 \varphi_1 - \dots$$

Lo característico de estas tablas es que han sido arregladas en tal forma que dado un argumento x, que es la magnitud conocida, se encuentra el valor φ_1

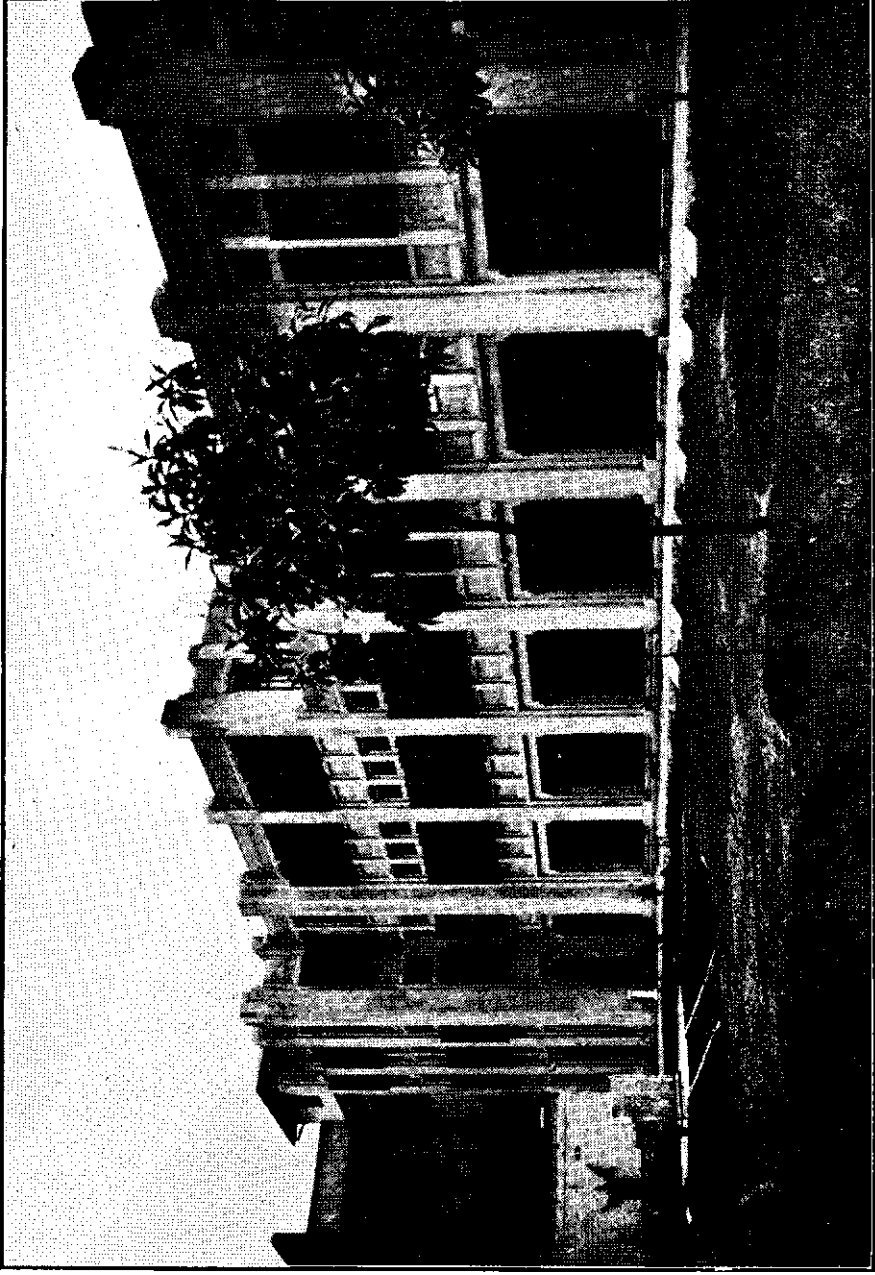
LONGITUD:
$$\lambda = \frac{y}{\cos \varphi_1} (2) \left\{ 1 - y^2 \frac{1}{6N_1^2} [\text{II}] \right\}$$

$$(2) = \frac{\rho''}{N_1}$$

$$[\text{II}] = 1 + 2 \operatorname{tg}^2 \varphi_1 + \eta^2$$

CONVERGENCIA:
$$\gamma = \lambda \operatorname{sen} \varphi \left\{ 1 + \frac{\lambda^2}{3\rho''^2} \cos^2 \varphi [\text{IV}] \right\}$$

$$[\text{IV}] = (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4)$$



Uno de los pabellones del Instituto Geográfico Militar

MINISTERIO DE HACIENDA

Sección Catastro

TRABAJOS GEODESICOS EJECUTADOS EN LA REGION
SALITRERA

Reseña histórica

Los trabajos geodésicos de la región salitrera fueron ejecutados, a partir del año 1908, por la Oficina de Mensura de Tierras, la que los prosiguió hasta su clausura, a principios del año 1915.

En esa época se hizo el reconocimiento desde la Quebrada de Camarones, cercana al paralelo 19° por el Norte, hasta el paralelo 23°, trabajo que se completó, después, hasta el límite Norte del país.

Las mediciones angulares correspondientes a las estaciones de primer orden se iniciaron a fines de 1908, empleándose Universales geodésicos fabricados por la Casa Troughton & Simms y heliotropos del tipo Bertram. Los Universales citados tienen un limbo azimutal de 10" y dan una lectura directa de 1", con aproximación del 0",1. Para hacer las mediciones se usó el método de Schreiber.

La Oficina de Mensura de Tierras midió, en esta ocasión, dos bases geodésicas, a saber:

Base de Pintados, de 8345 mts., medida en 1910.

„ „ Paciencia, de 6553 mts., medida el año 1914.

Estas Bases distan entre sí cerca de 220 Kms., y se unieron a los mareógrafos instalados en Iquique y Antofagasta por nivelaciones de precisión, ejecutadas por duplicado.

Las Bases fueron medidas con auxilio de alambres de invar, comparados, cada vez, en el terreno mismo, con un comparador especial de 20 mts. de longitud, para cuya medida se empleó una regla patrón de invar, construída por la Societé Gènevoise d'Instruments de Physique y que fué estudiada detenidamente por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de Sèvres. A fin de evitar en lo posible la influencia de los errores de comparación, se midió cada trozo de la Base por duplicado, con dos alambres diferentes.

La continuación de estos trabajos quedó a cargo de la Inspección de Geografía, de la Dirección de Obras Públicas, desde el año 1916, y, por necesidades de carácter administrativo, no se prosiguió con las mediciones de primer orden y nivelaciones de

CHILE

precisión y sólo pudo continuarse con los trabajos de segundo y tercer orden, y con el proyecto de triangulación hasta las cercanías del paralelo 25°.

En 1920, por razones de carácter económico, estos trabajos fueron suspendidos.

En 1928 fué creada la Inspección General de Catastro, dependiente del Ministerio de Hacienda, la que en 1931 pasó a depender de la Superintendencia del Salitre, del mismo Ministerio.

Esta Inspección continuó los trabajos de reconocimiento hasta el paralelo 26°, e hizo las mediciones angulares de las estaciones geodésicas hasta ese mismo paralelo, empleando en un principio los mismos instrumentos Troughton de la ex Oficina de Mensura de Tierras. Después, por facilidades de transporte, ya que se trabaja en una zona de desiertos, con pocas facilidades de comunicación y con vértices que pasan, en algunas partes, de 4000 mts. sobre el mar, se pensó en instrumentos más livianos. Se adquirió de la Casa Wild un instrumento de 14 cm. de diámetro del limbo azimutal, prosiguiéndose con él las estaciones de primer orden, con resultados equivalentes a los obtenidos con el Troughton.

Todos los trabajos a que se hace mención en esta reseña, tanto los de la ex Oficina de Mensura de Tierras, los de la Inspección de Geografía, como los de la Inspección de Catastro, hasta 1932, fueron dirigidos por el Ingeniero don Ernesto Greve y ejecutados con iguales normas, y aun cuando algunos de ellos fueron presentados a la Conferencia de Hamburgo, en 1912, se acompañan en resumen por el interés que pueda tener la comparación de trabajos ejecutados bajo las mismas condiciones, con instrumentos de distinto tipo.

Datos de la triangulación

Refiriéndonos al cuestionario de la Comisión de Triangulación, de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, acompañamos los siguientes datos:

Cuestionario N.º 1

Trozo I de la red.—Este trozo abarca la porción de red comprendida entre los vértices Constancia y Juan de Morales por el Norte; y los vértices Colupo, Pedregoso, Manchado y Limón Verde, por el Sur; y su cálculo está basado en los lados amplia-

dos correspondientes a las medidas de las Bases de Pintados y Paciencia.

Errores medios de una dirección.

- I. Error medio deducido de la compensación de estación 0",51
- II. Error medio deducido del cierre de triángulos 0",70
- III. Error medio deducido de la compensación de la red . . 0",72

Cuestionario N.º 2

Partiendo del lado ampliado de la Base de Pintados, que es el lado Puquio de Núñez-Rabo de Chanco de la triangulación, y haciendo el cálculo por la cadena central, se llega al lado Pedregoso-Manchado, que es la ampliación de la Base Paciencia, con una diferencia de 0 unidades de la séptima decimal logarítmica.

Posteriormente, en la compensación de este trozo de red se introdujo la condición de invariabilidad del largo de los lados ampliados.

Cuestionario N.º 3

Errores medios de las bases medidas y de los lados ampliados, calculados partiendo de dichas bases.

Base de Pintados, medida en 1910:

Largo medido	mts. 8 344,9003	(+ -mm 1,51)
Error medio, en partes del largo	1:5 526 425	
En unidades de la séptima dec. log.		0,8
Reducida al nivel del mar	mts. 8 343,5906	

Lado ampliado.—Puquio de Núñez-Rabo de Chanco:

Largo en mts.	56 491,85
Logaritmo	4,751 9858

Suponiendo la Base libre de error, se tiene:

Error medio en partes del largo	1:310 000
" " " unidades de la 7. ^a	14

CHILE

Base de Paciencia, medida en 1914:

Largo medido mts.	6 553,0273	($\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$ mm 1,52)
Error medio en partes del largo .	1:4 311 202	
” ” ” unidades de la 7. ^a dec. log.	1	
Reducida al nivel del mar mts.	6 551,6300	

Lado ampliado.—Pedregoso-Manchado:

Largo en mts.	41 217,83
Logaritmo . .	4,615 0851

Suponiendo la Base libre de error, se tiene:

Error medio en partes del largo . .	1:228 000
” ” ” unidades de la 7. ^a dec. log.	19

Questionario N.º 4

Se acompaña el catálogo de los vértices de triangulación de primer orden.

Questionario N.º 5

Error medio de una dirección deducido del cierre de triángulos,
por la fórmula $e = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{6n}}$

Se ha empleado en la medida de direcciones de primer orden el método de Schreiber ligeramente modificado, a fin de obtener mayor número de posiciones del círculo horizontal sin aumentar sensiblemente el costo del trabajo.

Instrumento Troughton, de 10''.—Limbo azimutal de 10'' de diámetro, con dos microscopios, da una lectura directa de 1'' y se aproxima a 0'',1.

Instrumento Wild, de 14 cm.—Limbo azimutal de 14 cm. de diámetro, da una lectura directa de 0'',2 y se aproxima los 0'',02.

Instrumento	N.º de triángulos	$[\Delta\Delta]$	e
Troughton de 10''	46	108,6667	0'',63
Troughton y Wild	10	21,9653	0'',61
Wild de 14 cm.	21	51,7028	0'',64
Total	77	182,3348	0'',63

CHILE

Se acompaña un cuadro detallado de los distintos triángulos.

SECCION CATASTRO

CATALOGO DE LOS VERTICES DE TRIANGULACION

N.º	Denominación	Lat. ° ' "	Long. ° ' "	Año	Observador	Instrumento
1	Juan de Morales	20 08	69 22	1909	Golborne	Troughton 10"
2	Puquio de Núñez	20 37	69 22	1909	"	"
3	Rabo de Chanco	20 54	69 48	1909	"	"
4	Carraseo	20 56	70 05	1909	"	"
5	Scronal	20 35	70 03	1909	"	"
6	Noria	20 24	69 49	1909	"	"
7	Tarapacá	20 21	70 07	1909	"	"
8	Constancia	20 03	69 55	1909	"	"
9	Challacollo	20 57	69 22	1910	"	"
10	Cerrillos	21 24	69 20	1910	Michell	"
11	Chipana	21 17	70 03	1911	"	"
12	Soledad	21 16	69 34	1911	"	"
13	Puntillas	21 58	69 48	1911	"	"
14	Encañada	21 45	69 32	1910	"	"
15	Tolar	21 58	70 07	1910	"	"
16	Canelo	21 34	69 44	1910	"	"
17	Mica	21 40	69 56	1910	"	"
18	Guacate	22 35	69 12	1911	"	"
19	Chug-Chug	22 12	69 22	1911	"	"
20	Inca	22 10	68 59	1911	"	"
21	Sierra Moreno	21 53	69 08	1911	"	"
22	Limón Verde	22 45	69 00	1912	"	"
23	Manchado	22 49	69 31	1912	"	"
24	Pedregoso	22 27	69 36	1912	"	"
25	Colupo	22 26	69 59	1912	"	"
26	Buey Muerto	22 38	69 51	1912	"	"
27	Vireira	22 45	70 05	1912	"	"
28	Quimureo	22 54	69 55	1928	Rivadeneira	"
29	Chacaya	22 59	70 15	1928	"	"
30	Morro Mejillones	23 06	70 32	1928	"	"

CHILE

N.º	Denominación	Lat ° ' "	Long. ° ' "	Año	Observador	Instrumento
31	Morro Moreno	23 28	70 35	1928	Rivadeneira	Troughton 10"
32	Hicks	23 21	70 12	1928	"	"
33	Refresco	23 23	69 48	1928	"	"
34	Colorado	23 13	69 28	1928	"	"
35	Centinela	23 09	69 05	1928	"	"
36	Coloso	23 48	70 30	1928	"	"
37	Cristales	24 09	70 25	1929	"	"
38	Tigre	23 37	70 04	1929	"	Wild 14 cm.
39	Cerro Moreno	24 01	69 54	1929	"	"
40	Palestina	23 48	69 38	1929	"	"
41	Mastodonte	23 40	69 10	1929	"	"
42	Pan de Azúcar	24 17	69 37	1929	"	"
43	Inilac	24 09	68 56	1929	"	"
44	Vicuña Mackenna	24 27	70 04	1930	"	"
45	Alto de Varas	24 45	69 11	1930	"	"
46	Buenos Aires	24 42	69 46	1930	"	"
47	San Pedro	25 00	70 14	1932	"	"
48	Paranal	24 38	70 26	1932	"	"
49	Paso Malo	25 21	70 26	1932	"	"
50	Pingo	25 39	70 17	1932	"	"
51	Esmeralda	25 51	70 35	1932	"	"
52	Pastos Largos	25 10	69 16	1932	"	"
53	San Venancio	25 28	69 29	1932	"	"
54	Guanaco	25 49	69 50	1932	"	"
55	Cortaderal	25 29	70 00	1932	"	"
56	Toro	25 05	69 49	1932	"	"

CATALOGO DE TRIANGULOS

N.º	Triángulos	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ²
			+	-	
	Noria	Troughton de 10"			
1	Constancia	" "	0,85		0,7225
	Juan de Morales	" "			

CHILE

N.º	Triángulos	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ²
			+	-	
	Noria	Troughton de 10''			
2	Juan de Morales Puquio de Núñez	" "	2,18		4,7524
3	Noria Puquio de Núñez Rabo de Chancho	" "	0,52		0,2704
4	Noria Rabo de Chancho Soronal	" "		1,05	1,1025
5	Noria Soronal Tarapacá	" "		1,15	1,3225
6	Noria Tarapacá Constancia	" "	1,06		1,1236
7	Rabo de Chancho Puquio de Núñez Challacollo	" "	2,56		6,5536
8	Rabo de Chancho Challacollo Soledad	" "		2,22	4,9284
9	Rabo de Chancho Soledad Chipana	" "		3,28	10,7584
10	Rabo de Chancho Chipana Carrasco	" "	2,00		4,0000
11	Rabo de Chancho Carrasco Soronal	" "	0,07		0,0049

CHILE

N.º	Triángulo	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ²
			+	-	
	Soledad	Troughton de 10''			
12	Challacollo Cerrillos	" "	0,18		0,0324
13	Soledad Cerrillos Canelo	" "	2,19		4,7961
14	Soledad Canelo Chipana	" "	1,00		1,0000
15	Canelo Cerrillos Encañada	" "		0,34	0,1156
16	Canelo Encañada Puntillas	" "	2,58		6,6564
17	Canelo Puntillas Mica	" "		0,53	0,2809
18	Canelo Mica Chipana	" "		1,07	1,1449
19	Encañada Cerrillos Sierra Moreno	" "	0,98		0,9604
20	Encañada Sierra Moreno Chug-Chug	" "		4,21	17,7241

CHILE

N.º	Triángulo	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ ²
			+	-	
	Encañada	Troughton de 10''			
21	Chug-Chug Puntillas	" "	2,77		7,6729
22	Puntillas Chug-Chug Pedregoso	" "	1,26		1,5876
23	Puntillas Pedregoso Colupo	" "	1,10		1,2100
24	Puntillas Colupo Tolar	" "	2,35		5,5225
25	Puntillas Tolar Mica	" "	0,69		0,4761
26	Chug-Chug Guacate Pedregoso	" "	1,88		3,5344
27	Chug-Chug Sierra Moreno Inca	" "	0,72		0,5184
28	Chug-Chug Inca Guacate	" "	0,46		0,2116
29	Guacate Inca Limón Verde	" "	0,94		0,8836

CHILE

N.º	Triángulo	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ²
			+	-	
	Guacate	Troughton de 10''			
30	Limón Verde	"	"	0,42	0,1764
	Manchado	"	"		
31	Guacate	"	"	0,05	0,0025
	Manchado	"	"		
	Pedregoso	"	"		
32	Pedregoso	"	"	1,57	2,4649
	Manchado	"	"		
	Buey Muerto	"	"		
33	Pedregoso	"	"	1,60	2,5600
	Buey Muerto	"	"		
	Colupo	"	"		
34	Buey Muerto	"	"	0,64	0,4096
	Manchado	"	"		
	Quimureo	"	"		
35	Buey Muerto	"	"	0,74	0,5476
	Quimureo	"	"		
	Vireira	"	"		
36	Buey Muerto	"	"	0,14	0,0196
	Vireira	"	"		
	Colupo	"	"		
37	Manchado	"	"	0,18	0,0324
	Limón Verde	"	"		
	Centinela	"	"		
38	Manchado	"	"	0,30	0,0900
	Centinela	"	"		
	Colorado	"	"		

CHILE

N.º	Triángulo	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ ²
			+	-	
	Manchado	Troughton de 10''			
39	Colorado	" "	0,99		0,9801
	Quimurco	" "			
	Quimurco	" "			
40	Colorado	" "	1,39		1,9321
	Refresco	" "			
	Quimurco	" "			
41	Refresco	" "	0,97		0,9409
	Hicks	" "			
	Quimurco	" "			
42	Hicks	" "	0,81		0,6561
	Chacaya	" "			
	Quimurco	" "			
43	Chacaya	" "	2,13		4,5369
	Vireira	" "			
	Hicks	" "			
44	Refresco	" "	1,27		1,6129
	Tigre	Wild de 14 cm.			
	Hicks	Troughton de 10''			
45	Tigre	Wild de 14 cm.	0,65		0,4225
	Coloso	Troughton de 10''			
	Hicks	" "			
46	Coloso	" "	0,78		0,6084
	Morro Moreno	" "			
	Hicks	" "			
47	Morro Moreno	" "	1,45		2,1025
	Morro Mejillones	" "			
	Hicks	" "			
48	Morro Mejillones	" "	0,86		0,7396
	Chacaya	" "			

CHILE

N.º	Triángulo	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ²
			+	-	
49	Refresco	Troughton de 10''	0,82		0,6724
	Colorado	" "			
	Palestina	Wild de 14 cm.			
50	Refresco	Troughton de 10''		1,49	2,2201
	Palestina	Wild de 14 cm.			
	Tigre	" "			
51	Colorado	Troughton de 10''	2,61		6,8121
	Centinela	" "			
	Mastodonte	Wild de 14 cm.			
52	Colorado	Troughton de 10''		1,60	2,5600
	Mastodonte	Wild de 14 cm.			
	Palestina	" "			
53	Tigre	" "	1,04		1,0816
	Palestina	" "			
	Cerro Moreno	" "			
54	Tigre	" "	0,9		0,0361
	Cerro Moreno	" "			
	Cristales	Troughton de 10''			
55	Tigre	Wild de 14 cm.	0,44		0,1936
	Cristales	Troughton de 10''			
	Coloso	" "			
56	Palestina	Wild de 14 cm.	1,76		3,0976
	Mastodonte	" "			
	Imilac	" "			
57	Palestina	" "		2,24	5,0176
	Imilac	" "			
	Pan de Azúcar	" "			
58	Palestina	" "	0,59		0,3481
	Pan de Azúcar	" "			
	Cerro Moreno	" "			

CHILE

N.º	Triángulo	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ²
			+	-	
	Cerro Moreno	Wild de 14 cm.			
59	Pan de Azúcar. Vicuña Mackenna	" "	0,97		0,9409
60	Cerro Moreno Vicuña Mackenna Cristales	" " " " Troughton de 10''	2,66		7,0756
61	Pan de Azúcar Imilac Alto de Varas	Wild de 14 cm. " " " "	0,94		0,8836
62	Pan de Azúcar Alto de Varas Buenos Aires	" " " " " "	2,21		4,8841
63	Pan de Azúcar Buenos Aires Vicuña Mackenna	" " " " " "	0,44		0,1936
64	Buenos Aires Vicuña Mackenna San Pedro	" " " " " "	0,09		0,0081
65	Vicuña Mackenna San Pedro Paranal	" " " " " "	2,03		4,1209
66	Vicuña Mackenna Paranal Cristales	" " " " Troughton de 10''	0,60		0,3600
67	Buenos Aires Alto de Varas Pastos Largos	Wild de 14 cm. " " " "	2,70		7,2900
68	Buenos Aires Pastos Largos Toro	" " " " " "	1,70		2,8900

CHILE

N.º	Triángulo	Instrumento y Diámetro del Círculo	Δ		Δ²
			+	-	
	Buenos Aires	Wild de 14 cm.			
69	Toro	" "		0,24	0,0576
	San Pedro	" "			
	Toro	" "			
70	Pastos Largos	" "		2,49	6,2001
	San Venancio	" "			
	Toro	" "			
71	San Venancio	" "		0,72	0,5184
	Cortaderal	" "			
	Toro	" "			
72	Cortaderal	" "	1,86		3,4596
	San Pedro	" "			
	Cortaderal	" "			
73	San Venancio	" "	1,88		3,5344
	Guanaco	" "			
	Cortaderal	" "			
74	Guanaco	" "	0,61		0,3721
	Pingo	" "			
	Cortaderal	" "			
75	Pingo	" "	0,35		0,1225
	Paso Malo	" "			
	Cortaderal	" "			
76	Paso Malo	" "		2,54	6,4516
	San Pedro	" "			
	Paso Malo	" "			
77	Pingo	" "		0,48	0,2304
	Esmeralda	" "			