

# Determinación de coordenadas

Ingo. JOAQUÍN VALLEJO

**I. — Método para obtener latitud, hora y azimut, con una sola serie de observaciones, mediante las fórmulas de Ruiz Wilches.**

**1) Introducción.** En las operaciones geodésicas; en el levantamiento de planos de baldíos o de concesiones petrolíferas; en la determinación de límites internacionales; en la construcción de mapas; en todos los trabajos que requieran la fijación de un punto o de una línea de referencia invariable, es menester el empleo de las coordenadas geográficas.

Los principales datos que se exigen para la determinación de un punto sobre la superficie de la Tierra son: la dirección del meridiano del lugar, la latitud y la longitud geográfica. La hora local entra en los cálculos y por eso constituye una cuarta incógnita. Además, con frecuencia, se piden la declinación magnética y la altura sobre el nivel del mar como datos complementarios.

Existen ciertos fenómenos físicos que permiten decidir sobre estos datos, tales como el magnetismo terrestre y los fenómenos giroscópicos, pero la exactitud es muy deficiente para las necesidades del ingeniero. Por esto es in-

dispensable recurrir a procedimientos astronómicos.

Los principios en que se fundan los diferentes métodos son los siguientes:

a) **Latitud.** La altura del polo celeste, sobre el horizonte, es igual a la latitud. La dirección del polo es fija y todas las estrellas describen círculos aparentes en torno a dicho punto.

b) **Meridiano.** El meridiano celeste de un lugar es el plano vertical que pasa por el polo celeste. Se llama azimut el ángulo que hace otro plano vertical con el meridiano.

c) **Hora.** El tiempo de un lugar está determinado por el paso de un astro por el meridiano. Si este astro es el Sol se tendrá el tiempo solar; si una estrella, se tendrá el tiempo sideral. Se admite una rotación uniforme de la Tierra sobre sí misma. La hora sideral del momento en que una estrella corta el meridiano (culmina) es igual a la ascensión recta de esta estrella.

d) **Longitud geográfica.** La diferencia de longitudes entre dos lugares de la Tierra es igual a la diferencia entre sus horas locales, multiplicada por 15.

e) La declinación magnética es el án-

gulo entre el meridiano celeste y la dirección de la brújula.

f) La altura sobre el nivel del mar está ligada a la indicación del barómetro por la fórmula de Laplace.

Los diversos métodos que se deducen de estos principios dependen de la exactitud requerida, de los instrumentos que se tienen a la mano, de la situación geográfica, etc.

A continuación desarrollamos el método del ingeniero Ruiz Wilches, combinado con el de alturas circunmeridianas.

## 2) Deducción de las fórmulas (1)

Sé supone instalado el teodolito con el movimiento vertical del anteojos lo más próximo posible al verdadero meridiano.

y al sur del cenit respectivamente, forman los triángulos astronómicos SPZ y SP'Z en los cuales

$l$  = latitud

$ZP = 90^\circ - l$

$ZS = Z_n$

$ZS' = Z_s$

$dn$  = declinación de la estrella norte

$ds$  = declinación de la estrella sur

$SP = 90^\circ - dn$

$SP' = 90^\circ - ds$

$AR_n$  = Asc. recta de la estrella norte

$AR_s$  = Asc. recta de la estrella sur

$\text{áng. } PZS$  = Azimut (positivo a la derecha de N.)

$SPZ$  = áng. horario de S

$SP'Z$  = áng. horario de S'

$H_n$  = Hora sideral de observ. de S

$H_s$  = Hora sideral de observ. de S'

$hn$  = áng. horario de S } + antes

$hs$  = áng. horario de S' } de culminar.

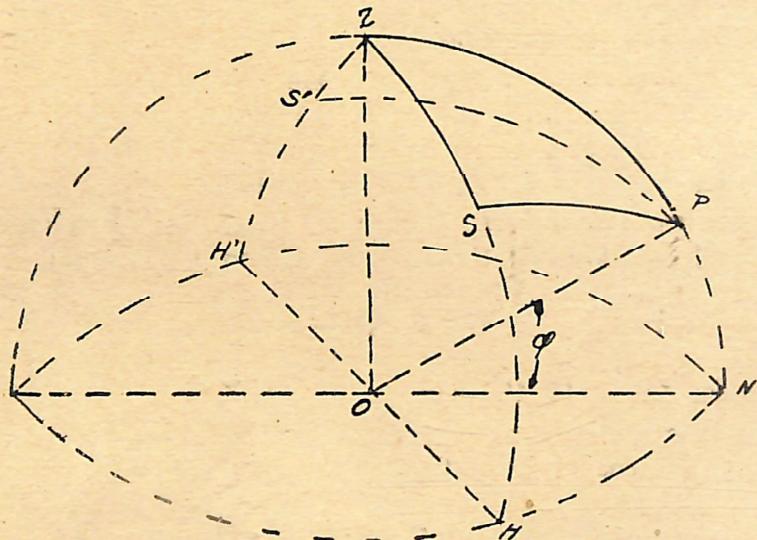


Fig. 1

Sea  $H'ZSH$  el plano que describe el anteojos en su movimiento vertical.

Las estrellas S y S' vistas al norte

### a) Azimut.

Sea  $Az = \text{Azimut}$ .

$$\frac{\sin PZS}{\sin SPZ} = \frac{\sin SPZ}{\sin SZ}$$

$$\text{Se tiene } \frac{\sin PZS}{\sin SP} = \frac{\sin SPZ}{\sin SZ}$$

(1) Ver "Anales de Ingeniería". Nro. 410 (1927). — Belisario Ruiz Wilches.

## Dyna

$$\frac{\sin PZS}{\cos dn} = \frac{\sin hn}{\sin Zn}$$

también:

$$\frac{\sin PZS}{\cos ds} = \frac{\sin hs}{\sin Zs} \quad (2)$$

Pero como

$\sin PZS = -\sin PZS' = \sin Az$ ,  
por ser ángulos suplementarios y por tomarse los azimuts a la derecha del Norte como positivos.

Si se invierten los términos de (1) y (2) y se suman:

$$\frac{\sin hn - \sin hs}{\sin Az} = \frac{\sin Zn - \sin Zs}{\cos dn - \cos ds}$$

...

Pero si el meridiano adoptado no alcanza un error de orientación mayor de  $1^{\circ}40'$ , puede tomarse aproximadamente:

$$Zn = dn - l$$

$$Zs = ds + l$$

Y tomando senos:

$$\begin{aligned} \sin Zn &= \sin dn \cos l - \sin l \cos dn \\ \sin Zs &= \sin ds \cos l + \sin l \cos ds \end{aligned} \quad \{ A$$

$$(1) \quad \frac{\sin Az}{\sin hn - \sin hs} = \frac{\cos dn \cos l + \sin dn \sin l}{\cos ds \cos l + \sin ds \sin l}$$

Pero como  $Az$ ,  $hn$  y  $hs$  son pequeños, podemos poner:

$$\sin Az = Az'' \sin l''; \sin h = h'' \sin l''$$

y si se tiene en cuenta que  $h'' = 15 h$

$$Az'' = \frac{15 (hn - hs)}{\cos l (\tan dn + \tan ds)} \quad (3)$$

Si  $E$  es el estado del cronómetro sideral, se tiene:

$$ARn = Hn + E + hn$$

$$ARs = Hs + E + hs$$

y haciendo

$$a = ARs - Hs, \quad b = ARn - Hn$$

$$b = E + hn \quad a = E + hs \quad (4)$$

sustituyendo en (3):

$$Az'' = \frac{15 (b - a)}{\cos l (\tan dn + \tan ds)} \quad (5)$$

De (4) sale:

b) Hora.

$$E = b - hn^s \quad E = a - hs^s \quad (6)$$

pero en (1) y (2) se tiene, sustituyendo el seno por el arco:

— O —

$$hn'' = Az'' \frac{\sin Zn}{\cos dn} = \frac{15 (b - a)}{\cos l (\tan dn + \tan ds)}, \quad \frac{\sin Zn}{\cos dn} = 15 hn^s$$

$$hs'' = -Az'' \frac{\sin Zs}{\cos ds} = \frac{15 (b - a)}{\cos l (\tan dn + \tan ds)}, \quad \frac{\sin Zs}{\cos ds} = 15 hn^s$$

que llevadas a (6) dan:

$$E = b - \frac{b - a}{\cos l (\tan dn + \tan ds)} - \frac{\sin Zn}{\cos dn}$$

$$E = a + \frac{b - a}{\cos l (\tan dn + \tan ds)} - \frac{\sin Zs}{\cos ds}$$

sumando:

$$2E = b+a - \frac{b-a}{\cos l (\tan dn + \tan ds)} \quad \left\{ \frac{\sin Z_n}{\cos dn} - \frac{\sin Z_s}{\cos ds} \right\}$$

Pero las fórmulas (A) dicen que:

$$\frac{\sin Z_n}{\cos dn} - \frac{\sin Z_s}{\cos ds} = \cos l (\tan dn + \tan ds) - 2 \sin l \quad \text{y por último:}$$

$$E = \frac{1}{2} \left\{ b+a - (b-a) \frac{\tan dn + \tan ds - 2 \tan l}{\tan dn + \tan ds} \right\} \quad (7)$$

fórmula que da el número de segundos que se deben agregar a la hora que señale el cronómetro, para obtener la hora verdadera.

c) Latitud. Si se llaman  $en$  y  $es$  los

errores cometidos al tomar como alturas meridianas las observadas con el teodolito en la posición que hemos supuesto, es decir, muy cerca del meridiano, las distancias cenitales meridianas serán respectivamente  $(Z_n - en)$  y  $(Z_s - es)$ .

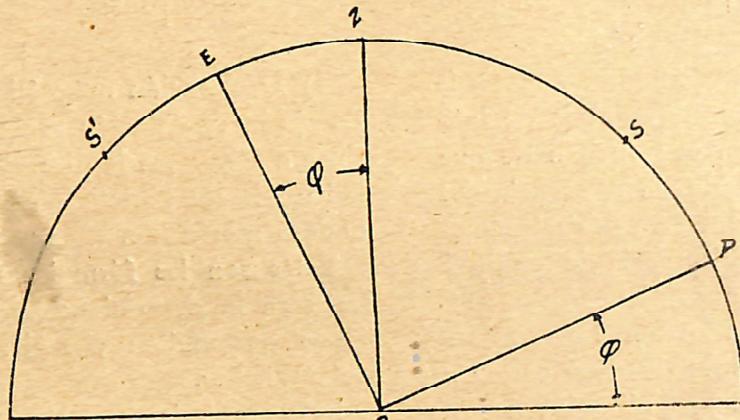


Fig 2

En la fig. se tiene:  
 $ZS = Z_n - en = dn - l;$   
 $ZS' = Z_s - es = ds + l.$

De donde restando miembro a miembro:

$$l = \frac{1}{2} [(dn - ds) + (Z_s - Z_n) + (en - es)] \quad (8)$$

donde  $Z_n$  y  $Z_s$  son las distancias cenitales leídas pero corregidas para nivel y refracción.

Los valores de  $en$  y  $es$  pueden en-

contrarse por las fórmulas o las tablas de reducción al meridiano, a saber:

$$e = \frac{\cos l \cos d}{\sin Z} \quad \frac{2 \sin^2 \frac{h}{2}}{\sin l''} \quad (9)$$

Pero el mismo Ingo. Ruiz Wilches deduce otra \* que tiene la gran ventan-

\* Ver el folleto "Determinación de coordenadas geográficas". Oficina de Longitudes. pág. 22.

ja de no encerrar el ángulo horario  $h$ : En el triángulo astronómico SPZ (fig. 1) se tiene:

$$\cos PS = \cos SZ \cos PZ +$$

$$\sin SZ \sin PZ \cos PZS \quad \text{ó:}$$

$$\sin d = \cos Z \sin l + \sin Z \cos l \cos Az$$

$$\text{y como } \cos Az = 1 - 2 \sin^2 \frac{1}{2} Az \text{ y}$$

$$\sin (Z+l) = \cos Z \sin l + \sin Z \cos l$$

Resulta:

$$\sin (Z+l) - \sin d = \sin Z \cos l + 2 \sin^2 \frac{1}{2} Az.$$

Si llamamos  $Zo$  la distancia cenital meridiana y  $en$  la reducción al meridiano

$$en = \frac{\sin Zn \cos l}{\cos dn} \cdot \frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} Az}{\sin l''} + \tg dn \frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} en}{\sin l''} \quad (10)$$

Lo mismo puede deducirse que:

$$es = \frac{\sin Zs \cos l}{\cos ds} \cdot \frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} Az}{\sin l''} - \tg ds \frac{2 \cos^2 \frac{1}{2} es}{\sin l''} \quad (11)$$

d) **Longitud.** Todo método astronómico para obtener diferencias de longitud se funda en el principio de que en un instante dado, la diferencia del tiempo local en dos lugares cualesquiera es también su diferencia de longitud expresada en tiempo.

Si  $H_1$  y  $H_0$  son las horas medias en el mismo instante en dos lugares y  $L_1$  y  $L_2$  sus longitudes geográficas se tiene:

$$L_1 - L_2 = 15 (H_1 - H_0) \quad (12)$$

e) **Altura.** Para obtener la altura sobre el nivel del mar la fórmula más apropiada es la de Laplace que está reducida a tablas en función de la lectura del barómetro o del hipsómetro. Cuando no se requiere mucha precisión puede utilizarse un altímetro, o sea un barómetro aneroide graduado directamente en metros sobre el nivel del mar.

no de la estrella norte:

$$dn = 1 + Zo \quad \text{y} \quad Zn = Zo + en$$

y sustituyendo:

$$\sin (dn + en) - \sin dn =$$

$$\sin Zn \cos l \cdot 2 \sin^2 \frac{1}{2} Az \quad \therefore$$

$$\frac{\sin Zn}{\sin en} = \frac{\cos l \cdot 2 \sin^2 \frac{1}{2} Az}{\cos dn} +$$

$$\tg dn \cdot 2 \sin^2 \frac{1}{2} en$$

y como  $en$  es muy pequeño, puede escribirse:

$$\frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} en}{\sin l''} + \tg dn \frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} en}{\sin l''} \quad (10)$$

$$- \tg ds \frac{2 \cos^2 \frac{1}{2} es}{\sin l''} \quad (11)$$

f) **Declinación magnética.** La medida de la declinación magnética se reduce a comparar la dirección dada por la brújula con la determinación del verdadero meridiano.

Estas son las fórmulas fundamentales para la determinación de coordenadas geográficas por el método de Ruiz Wilches.

Para resumir se anota a continuación un formulario:

$$\text{Azimut} = \frac{15 (b-a)}{\cos l (\tg dn + \tg ds)}$$

Medido en seg. Si es positivo, el meridiano está a la izquierda del supuesto.

Donde:

$a$  = Asc. recta de la estrella sur, menos la hora observada ( $H_s$ ).

$b$  = Asc. recta de la estrella norte, menos la hora observada ( $H_n$ ).

No es necesario conocer la hora exacta.  $l$ =latitud;  $dn$  y  $ds$  las declinaciones

de las estrellas norte y sur, respectivamente.

$$\text{Hora: } E = \frac{1}{2} \left\{ b + a - (b - a) \frac{\frac{\text{tg. } dn - \text{tg. } ds - 2 \text{ tg. } l}{\text{tg. } dn + \text{tg. } ds}}{\right\}$$

$E$ =Error de retardo del reloj. Si  $E$  es negativo el cronómetro está adelantado.

Latitud:

$$l = \frac{1}{2} [(dn - ds) + (Z_s - Z_n) + (en - es)]$$

Donde  $Z_s$  y  $Z_n$  son las distancias cenitales leídas y corregidas para refracción y nivel. Si se toman estrellas

aproximadamente a la misma altura, los errores se compensan en gran parte.

$en$  y  $es$  son las reducciones al meridiano dadas por la fórmula:

$$e = \frac{\cos l \cos d}{\sin Z} \cdot \frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} h}{\sin l''}$$

si se conoce el ángulo horario  $h$ ; o si no se conoce, por las fórmulas:

$$en = \frac{2 \sin Z_n \cos l}{\cos dn} \cdot \frac{\sin^2 \frac{1}{2} Az}{\sin l''} + 2 \frac{\text{tg. } dn}{\sin l''} \frac{\sin^2 \frac{1}{2} en}{\sin l''}$$

$$es = \frac{2 \sin Z_s \cos l}{\cos ds} \cdot \frac{\sin^2 \frac{1}{2} Az}{\sin l''} - \frac{\text{tg. } ds}{\sin l''} \frac{2 \cos^2 \frac{1}{2} es}{\sin l''}$$

donde  $Az$  es el azimut de la dirección supuesta.

### 3) Notas de errores de observación.

Como se ve por la descripción del método, en el azimut no influye otro error que el de nivelación del eje y esto de tan débil manera, que siendo pequeño no merece la pena de corregirse. El error de colimación queda eliminado con el empleo de estrellas norte y sur, basculando simplemente el anteojos.

En la hora influyen el error de nivelación del eje del anteojos, lo mismo que en el paso meridiano y el de colimación que se elimina sensiblemente con observación de estrellas en posi-

ción directa e invertida del anteojos.

En la latitud influyen el nivel y la refracción, que se corrige como de ordinario y el error índice que se elimina con pares de estrellas constituidas por una estrella en posición directa y otra en posición invertida del anteojos.

En resumen, los errores instrumentales se corrigen como queda dicho y teniendo presente que para hora y latitud, debe constar de una estrella en la posición directa y otra en la invertida del anteojos; pero para el azimut las dos estrellas de cada par deben haber sido observadas en la misma posición del anteojos. La nivelación del eje debe ser, hasta donde sea posible, escrupulosa, para evitar correcciones inútiles.

La mayor ventaja de este procedi-

miento consiste en obtener los tres datos, azimut, hora y latitud, con una sola observación y cálculos sencillos; los resultados que con él se obtienen son para azimut superiores a las obtenidas con otro procedimiento cualquiera de los de uso corriente; para hora tan buena como se alcanza a apreciar en la forma ordinaria el tiempo; pero para latitud, la posición está limitada por la lectura del círculo vertical. \*

#### 4) Elementos necesarios.

Para la observación son necesarios los siguientes elementos:

a) Un buen teodolito ajustado que tenga como lectura mínima a lo sumo el error tolerado. Recuérdese que para conocer la lectura mínima basta dividir el valor de la más pequeña división del limbo por el número de divisiones del vernier. El teodolito debe tener dispositivo para iluminar el retículo.

b) Un cronómetro de suspensión cardán, compensado, de medios segundos; o en su defecto, un buen reloj con manecilla indicadora de quintos de seg.

c) Si se va a determinar longitud geográfica también, es necesario un receptor portátil de radio para recibir las señales de hora. En caso de que no se tenga un receptor hay que usar un cronómetro para transportarlo con mucho cuidado.

d) Un buen aneroide que se compara con el barómetro de mercurio de una estación meteorológica o con una altura conocida si se tienen las tablas de transformación de lecturas barométricas a metros.

e) Dos termómetros centígrados para medir la temperatura ambiente

f) Almanaque náutico o "Connaisance des Temps" del año para las coordenadas de las estrellas.

g) Un mapa sideral y un conocimiento general de las principales constelaciones

h) Un mapa del Departamento de los de la Oficina de Longitudes, para tomar de él los datos aproximados de las coordenadas del país.

i) Tablas de logaritmos y de funciones trigonométricas.

j) Linterna eléctrica

k) Lápices, cartera, etc.

l) Tablas para corrección por refracción y formulario de las coordenadas.

m) La precisión requerida en latitud, longitud y azimut.

n) Si no se tiene confianza en el eje horizontal del teodolito, estudiar la desviación con un nivel caballero, en el que se conoce el valor de las divisiones en segundos.

o) La serie de pares de estrellas norte y sur que culminen a alturas prácticamente iguales y con intervalo pequeño de tiempo.

## Reglas para la determinación de las coordenadas

En los capítulos anteriores hemos vis-

\* Para conocer la influencia que tienen en las fórmulas las inexactitudes de los datos, consultar el estudio del Ing. Jorge Acosta V. en "Anales de Ingeniería", julio de 1927. Nro. 412, pág. 494.

to las fórmulas que permiten calcular las coordenadas con los datos de observación y los elementos necesarios. Se trata ahora de indicar la manera de proceder en la práctica. Ver a este respecto el interesante artículo de E. Uribe White en "Pan". Año I, No. 1, que

nos servirá de guía ahora.

### I — Observaciones nocturnas.

a) Durante el día se prepara la observación nocturna, revisando los elementos necesarios a saber:

Que el teodolito esté bien ajustado y, si es posible, conocer la desviación del eje horizontal por el nivel caballero.

Que la linterna para la iluminación del retículo esté buena.

Que el barómetro y los termómetros estén correctamente.

Que el cronómetro no adelante o re tarde en la marcha, lo cual se sabe en la comparación con las señales oídas (ver más adelante).

Que se tengan a mano los otros elementos indicados.

b) Durante el día se instala el campamento, todo en orden, donde nada se rompa y todo se encuentre, en la noche. Lugar y luz cómodos para el trabajo de calcular.

c) Durante el día se instala el receptor y se compara el cronómetro o reloj por medio de las señales recibidas. Es práctico llevarle al reloj un gráfico de comparación, en papel cuadriculado, a escala, en el que se puedan apreciar con certeza décimos de segundo, pues así se evita el cálculo del error en el momento de la observación, el cual se encuentra simplemente en el gráfico que se lleve.

d) Durante el día se escoge el sitio para instalar el instrumento. Desde donde se ponga el tránsito se debe ver todo el cielo, sin obstrucciones (árboles, etc.) especialmente en la dirección Norte-Sur. Se escoge un sitio fijo. Una estaca bien clavada, a la cual se le ha hecho cara para fijar una cartulina con una cruz, puede servir para la "marca". Esta marca no debe estar a me-

nos de ochenta metros del sitio del tránsito y debe ser accesible durante la noche. A la línea "Instrumento-marca" se le va a determinar el azimut; esa línea se conecta después fácilmente con la poligonal. Naturalmente, el sitio para poner el instrumento debe quedar lo más cerca posible del campamento, a pocos metros, para la comodidad del trabajo nocturno.

Es aconsejable clavar las estacas para las patas del trípode, de manera que, al volver a centrar el instrumento por la noche, se encuentre rápidamente la posición, pues no hay que olvidar que ello se hace a luz de lámpara. Se debe marcar qué pata corresponde a qué estaca y no variar la longitud de aquéllas. Esto naturalmente, cuando se han hecho observaciones solares en el mismo punto y se quieren aprovechar. Para observaciones nocturnas, exclusivamente, no es necesario.

e) Durante el día, preparar cuidadosamente los pares de estrellas.

f) En la noche, instalar el teodolito, nivelarlo e iluminar el retículo.

g) Con el plato en ceros se dirige la visual hacia la cartulina que debe tener dos rayas en cruz y ser iluminada por el ayudante. O bien, colocar la luz dentro de una caja de cartón o de hojalata a la cual se le hace una hendidura vertical para observar el haz luminoso con el teodolito. Se fija la línea de ceros en la de la marca como R. M. provisional.

h) Se deja libre el movimiento del vernier horizontal y se orienta el telescopio, en su posición normal, hacia el Norte indicado por la aguja magnética, previa corrección de la declinación en el lugar. O bien, si no se cree tener así una aproximación siquiera de  $1^{\circ} 40'$  con el verdadero meridiano, se

procede a utilizar una estrella circunmeridiana por alturas iguales. El promedio de los azimuts, con relación al R. M., dará una dirección muy satisfactoria para el Norte. No se necesita mucha precisión en esta determinación. Se deja el instrumento algunos momentos para que tome la temperatura de la noche.

i) Se fija el plato del vernier y sólo se permite el juego vertical del telescopio. En esta situación se localizan con ayuda del mapa celeste, de las constelaciones conocidas y de los cálculos de los pares de estrellas que culminan a esa hora, las que están cerca del meridiano, antes de pasar. Se espera a que la estrella escogida entre al campo del telescopio y cuando ésto suceda, se fija el movimiento vertical, para continuar trabajando con el tornillo tangencial **vertical únicamente**. ¡El plato horizontal no debe tocarse! Es necesario, antes de fijar el movimiento, cuidar de que el tornillo tangencial tenga amplio juego. Despues se corta la estrella con el hilo horizontal del centro y se mantiene así, siguiéndola, hasta que llegue a la intersección con el hilo vertical. En este instante se fija la hora apretando el botón del reloj y anotándola en la cartera. Si se tiene un cronómetro al cuidado del ayudante es necesario advertir antes del cruce por una serie de sílabas iguales que se modifican en el momento de la intersección, por ejemplo: ¡ta!, ¡ta!, ¡ta!, ¡tí! Con esto, el auxiliar puede anotar desde el principio la hora, los minutos y los segundos que que se llevan, para atender mejor a las fracciones de segundo.

Se lee la temperatura en el termómetro adjunto al barómetro, si lo hay, y en el termómetro libre y se anota aparte. Se anota la lectura del limbo verti-

cal del teodolito en ambos verniers.

j) Se afloja el movimiento vertical del anteojos y se dirige hacia la otra estrella que forma el par calculado con la observada. Se hacen las mismas operaciones y anotaciones.

En la misma forma se continúa hasta haber utilizado la mitad de los pares. Si alguna estrella se pierde por la interposición de nubes o cualquier otro inconveniente, se señala la correspondiente para calcular con ella por aparte.

k) Utilizada la mitad de los pares se anota el azimut que señala el plato horizontal y se da un giro de  $180^\circ$  para concluir la observación de los pares en esa forma.

l) Simultáneamente, desde la primera observación, otro ayudante hace los cálculos de azimut, latitud y hora para compararlos y descubrir los errores de observación.

m) Con esto queda concluída la observación y puede entrarse al cálculo definitivo de las tres coordenadas.

**Nota I.—Manera de llevar la cartera.**

- 1) Lugar de la observación.
- 2) Fecha.
- 3) Observadores.
- 4) Coordenadas aproximadas (long. y latitud).
- 5) Teodolito (marca, número y lectura mínima).
- 6) Cronómetro (marca, número, marcha y rata).
- 7) Barómetro y termómetros (referencias).
- 8) Referencias sobre el R. M.
- 9) Azimut provisional.

a) Posición directa      **Primer par**  
**Estrellas Norte**

(Nombre de la estrella)

AR: — Declinación;

Hora sideral:

Altura (Los dos verniers:

Lectura del barómetro:

Temp. del barómetro:

Temp. ambiente:

**Estrellas Sur**

Idem

**Segundo par**

b) Posición invertida

(giro de 180° horizontal)

**Estrellas Norte**

**Estrellas Sur**

Nota 2.—Los cálculos se hacen con el formulario ya dado.

La altura observada necesita la corrección de refracción por la fórmula de Bessel:

$$\log r = A + M (\log B + \log t) \\ + N \log T + \log \cot a$$

Donde:

$r$  = refracción en segundos de arco para restar a la altura.

$a$  = altura observada aparente.

$B$  = Un factor que depende de la altura del barómetro en pulgadas.

$t$  = Un factor que depende de la lectura del termómetro adjunto al barómetro, en grados F.

$T$  = Un factor que depende de la lectura del termómetro al aire ambiente.

A, M, y N son factores que dependen de  $a$ , pero aproximadamente igua-

les a la unidad, de modo que puede hacerse para simplificar los cálculos  $A = M = N = 1$ .

Estos factores se encuentran en Chamber's Math. Tables.

Altura verdadera = Altura observada — Refracción.

**II. — Observaciones solares**

Las observaciones solares tienen la ventaja de verificarse durante el día, pero el inconveniente de no permitir sino una observación sin poder compensar los errores de refracción e instrumentales. Además, en nuestras latitudes culmina muy alto, lo cual no sólo es incómodo para la observación, sino perjudicial para la exactitud. La determinación de azimut no permite observaciones sino entre las 8 y las 10 de la mañana o entre las 2 y las 4 de la tarde. Las estrellas ofrecen mayor exactitud y más sencillez.

a) Centrado y nivelado el instrumento y dirigido en cero hacia el R. M. se suelta el movimiento del vernier horizontal. Se anota el rumbo magnético del R.M.

b) Provisto el anteojos del vidrio ahumado, se busca el Sol hasta colocarlo en el cuadrante (3), trigonométrico, del campo visual. Se fijan los dos movimientos, horizontal y vertical, para continuar trabajando con los tornillos tangenciales. Se conserva uno de los hilos inmóvil y se guía el otro de manera que quede siempre tangente al disco solar. En el momento en que el Sol toque el otro hilo inmóvil se echa a andar la manecilla del reloj. Debe a-

notarse la temperatura y la presión atmosférica.

c) Deteniendo la manecilla cuando el segundero marca un minuto completo, se apunta la hora y este minuto y, al frente, los segundos y décimos que marque la manecilla; los cuales se restarán de la hora y minutos apuntados para obtener el instante preciso en que el disco fué tangente a ambos hilos, vertical y horizontal, en uno de los cuadrantes. Hay que tener la precaución de volver a poner en cero la manecilla del reloj inmediatamente se apunte la lectura, para evitar perder una observación.

d) Léase y apúntese el ángulo vertical, ambos verniers.

e) Procédase a poner el sol en el cuadrante diagonalmente opuesto al anterior (es decir el (1) trigonométrico). Se repite la observación. Hay que seguir siempre el mismo orden, por ejemplo: cuadrante inf. izquierdo, cuadrante sup. derecho, cuadrante inf. derecho, cuadrante sup. izquierdo, para no observar el sol dos veces en el mismo cuadrante, lo cual echaría a perder la observación. También se debe acostumbrar a seguir el mismo orden en las lecturas: reloj, áng. horizontal, áng. vertical, para no ir a dejar de leer un ángulo lo que es posible, puesto que se tiene prisa de hacer la observación completa dentro de un máximo de diez minutos, para no introducir errores muy grandes.

Se debe invertir el telescopio después de la segunda observación y ejecutar con él en esa posición los dos siguientes para eliminar errores de colimación.

f) Mírese otra vez hacia el R. M., léase y apúntese el ángulo que debe ser cero grados. Si hay diferencia, la mitad se aplicará, con el signo apropiado, al promedio de las lecturas del ángulo horizontal.

g) Anótese la temperatura y la presión lo mismo que el rumbo magnético, si variaron.

h) Compárese la hora con las señales del radio.

### Cálculo

Se emplea la siguiente fórmula:

$$\log \operatorname{tg} \frac{A}{2} = \frac{1}{2} [\log. \sec S. + \log. \sec (S-p) + \log. \operatorname{sen} (S-l) + \log. \operatorname{sen} (S-h)]$$

### Notas.

1) La distancia polar (**p**) es siempre calculada desde el polo elevado, el norte en Colombia; es decir que si la declinación es Sur se suma a  $90^\circ$  y se resta si es Norte. La latitud siempre se considera positiva.

2) Aun cuando (**S-p**) en la mayoría de los casos resulta con signo negativo, hágase caso omiso del signo, que no influye en el cálculo; considérese positivo el logaritmo.

3) El azimut (**A**) es el áng. horizontal entre el Sol y el Polo elevado, hacia la derecha o la izquierda del Polo, según si la observación haya sido hecha por la mañana o por la tarde.

4) La altura verdadera (**h**) viene del áng. vertical observado y corregido por la refracción (se resta) y paralejo (se suma).

5) La latitud (**l**) se obtiene del mapa. En caso de que se dude de su apro-

ximación se repite el cálculo con la cantidad obtenida por el método de alturas meridianas del Sol o de las estrellas.

$$6) S = \frac{1}{2} (h+l+p)$$

### Determinación de la longitud

Durante el día se debe llevar el registro de la marcha del reloj por las señales recibidas de una estación conocida, por ejemplo NAA de Washington que trabaja en 71.3 - 35.7 - 23.8 y 17.8 metros de long. de onda a las 22 h., a las 16 h., a las 3 h. y a las 12 h. O la NSS de Annápolis en 34.7 metros, a las 19 h. O la HKF de Bogotá a las 12 h., que dan la hora standard del meridiano  $75^{\circ}$  W que es el mismo de Colombia.

Ciclo de señales de hora emitidas por radio por la NSS. (Los silbidos comienzan 5 minutos antes de las 12 horas, las 16, las 22 y las 3).

El ciclo de señales es el mismo para todas las estaciones y están constituidas por un silbido corto y seco, al empezar cada segundo, cinco minutos antes de la hora. La señal de la hora que se puede tomar al décimo de segundo, la constituye el comienzo del silbido largo al final de los nueve segundos de silencio después del cincuentavo segundo del último minuto. El cronómetro se puede ir comparando, a ojo y oído, todos los medios minutos y al principio de cada minuto, para promediar el error.

## Notas sobre la exactitud requerida por el Ministerio

#### Art. 1o.--Los planos y exposiciones

Cada punto (.) significa un silbido. Nótese que para permitir la comparación cada medio minuto se suspende un silbido que corresponde al segundo de orden 29. Nótese también que los silbidos se interrumpen en el segundo de orden 55 para permitir que se esté atento al comienzo del próximo minuto. Nótese además que se puede saber en cuál minuto se están oyendo los silbidos, por ejemplo: al terminar el primer minuto, o sea cuando faltan 4 minutos para la hora completa queda un silencio en el segundo de orden 51 y después se oyen 4 silbidos. Lo mismo, cuando faltan 3 minutos para la hora exacta y completa, después del silencio se oyen aun 3 silbidos, etc.

a que se refiere el artículo 55 del Código Fiscal, deben ir acompañados de las carteras de apuntes en que consten los datos tomados sobre el terreno y

los cálculos hechos sobre ellos, de tal manera que con tales apuntes y cálculos cualquiera ingeniero o agrimensor pueda dibujar el plano sin necesidad

de trasladarse al terreno.

La orientación del plano debe referirse al meridiano verdadero, mediante observaciones practicadas en el mismo terreno, y no por referencias de la declinación de las agujas magnéticas.

Las observaciones, métodos y cálculos que hayan servido, para la determinación del meridiano verdadero deben aparecer en la cartera de apunte.

Art. 2o.—En todo plano de baldíos referente a globos de más de mil hectáreas, constarán las coordenadas geográficas de uno de los vértices del polígono topográfico. En la memoria correspondiente se expresará con toda clase de detalles, el método seguido para la determinación de las expresadas coordenadas y los datos de los cálculos correspondientes.

Cuando el terreno solicitado tenga una superficie mayor de mil (1000) hectáreas, se dará cumplimiento a lo dispuesto en la citada ley 64 de 1915 (Art. 2o.). El cálculo de las coordenadas geográficas de uno de los vértices del polígono que encierra la superficie solicitada figurará en la memoria o exposición del perito agrimensor. El perito agrimensor queda en libertad de escoger el método que más le convenga para la fijación de dichas coordenadas. Puede hacerse uso del método descrito por el doctor Jorge Acosta V. en el Tomo 16, No. 303 y 304 de los Anales de Ingeniería Nacional correspondientes a los meses de junio y julio de 1918, páginas 18 a 24. Para la fijación de la latitud podrá hacer uso también de la distancia zenital meridiana, en cuyo caso se harán no menos de veinte (20) observaciones con estrellas que culminen la mitad al Norte y la otra mitad al Sur y den una aproximación con un error medio menor de 10" de arco. También puede usar el

método de Delambre y que dé una aproximación menor de 5" de arco, o puede hacer uso de cualquiera de los métodos de alturas iguales de las estrellas con un error de 2" de arco. En cualquiera de los casos presentará el cálculo de todas las observaciones hechas de acuerdo con el método que escoga y el cálculo de error medio probable. La longitud la determinará por medio de recibo de señales horarias en un cronómetro cuya variación de rata diurna, comprobada, sea menor a un segundo de tiempo. En cuanto a los procedimientos para obtener la hora puede escoger cualquiera de los métodos comúnmente usados, pero siempre que sean uniformes, es decir, sólo por altura absoluta, o por alturas iguales, o por alturas correspondientes. Cuando se haga uso de altura absoluta se hará con el cuerpo celeste siempre al Este o siempre al Oeste, es decir, sin cambiar estas dos posiciones. Como en el cálculo de la latitud, en este caso, se presentarán también todos los cálculos y detalles que sirvieron para determinar la longitud. La altura sobre el nivel del mar se fijará con barómetro de mercurio, o con hipsómetro que tenga termómetros y haciendo uso de agua destilada, o también con barómetro aneroide compensado. Las observaciones se harán durante el tiempo que dure el levantamiento a las doce (12) y veinte (20) minutos p. m. hora media local. El meridiano verdadero se determinará por altura absoluta, por altura correspondiente, o por azimut de la polar, o por paso circunmeridiano. Estas observaciones se acompañarán del promedio de la lectura de la aguja magnética.

Del señor Srio. atento y seguro servidor.

Peregrino Ossa V.  
Ingo. del Departamento