

**DETERMINACION ASTRONOMICA EXPEDITIVA DE LATITUD
Y AZIMUT POR DISTANCIAS CENITALES DE PARES DE
ESTRELLAS A SU PASO POR UN VERTICAL
PROXIMO AL MERIDIANO**

ALBERTO L. ENRICH y CARLOS BRAÑA VILLAMIL
Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires

El método expuesto en el presente artículo, se fundamenta en la determinación de las distancias cenitales de paso de dos estrellas por uno o varios planos verticales relativamente próximos al meridiano. En latitud se obtiene una exactitud cercana al método de paso de estrellas por el meridiano y en azimut una exactitud próxima al método de estrellas en mayor elongación. Las fórmulas a emplear son sencillas.

The method exposed in the present article, is based on the determination of the cenital distances of the passage of two stars by one or several vertical planes relatively near to the meridian. A precision comparable to the method of the passage of stars by the meridian is obtained in latitude, and in azimuth an exactitude near to the stars method in greater elongation. The formulæ to be employed are simple.

El método se fundamenta en la determinación de las distancias cenitales de dos estrellas a su paso por un mismo vertical, es decir, manteniendo constante el azimut en las dos determinaciones.

Hecha la lectura azimutal de la mira, y bisectada la primera estrella, se anotarán las lecturas en azimutal y vertical, y sin variar la posición azimutal, se esperará el paso de la segunda estrella, de la que se anotará la distancia cenital.

En tales condiciones, se obtiene del triángulo de posición, para la primera y segunda estrella:

$$\text{sen } \delta_1 = \text{sen } \varphi \cos z_1 + \cos \varphi \text{ sen } z_1 \cos A \quad (1)$$

$$\text{sen } \delta_2 = \text{sen } \varphi \cos z_2 + \cos \varphi \text{ sen } z_2 \cos A \quad (2)$$

Donde A ha permanecido constante. Las

Donde A ha permanecido constante. Las expresiones (1) y (2) constituyen un sistema normal, de incógnitas $\text{sen } \varphi$ y $\cos A$. Resolviendo con respecto a $\text{sen } \varphi$ y $\cos A$, obtenemos:

$$\text{sen } \varphi = \frac{\text{sen } \delta_1 \text{ sen } z_2 \pm \text{sen } \delta_2 \text{ sen } z_1}{\text{sen } (z_1 \pm z_2)} \quad (3)$$

Análogamente para $\cos A$:

$$\cos A = \frac{\cos z_1 \text{ sen } \delta_2 - \text{sen } \delta_1 \cos z_2}{\cos \varphi \text{ sen } (z_1 \pm z_2)} \quad (4)$$

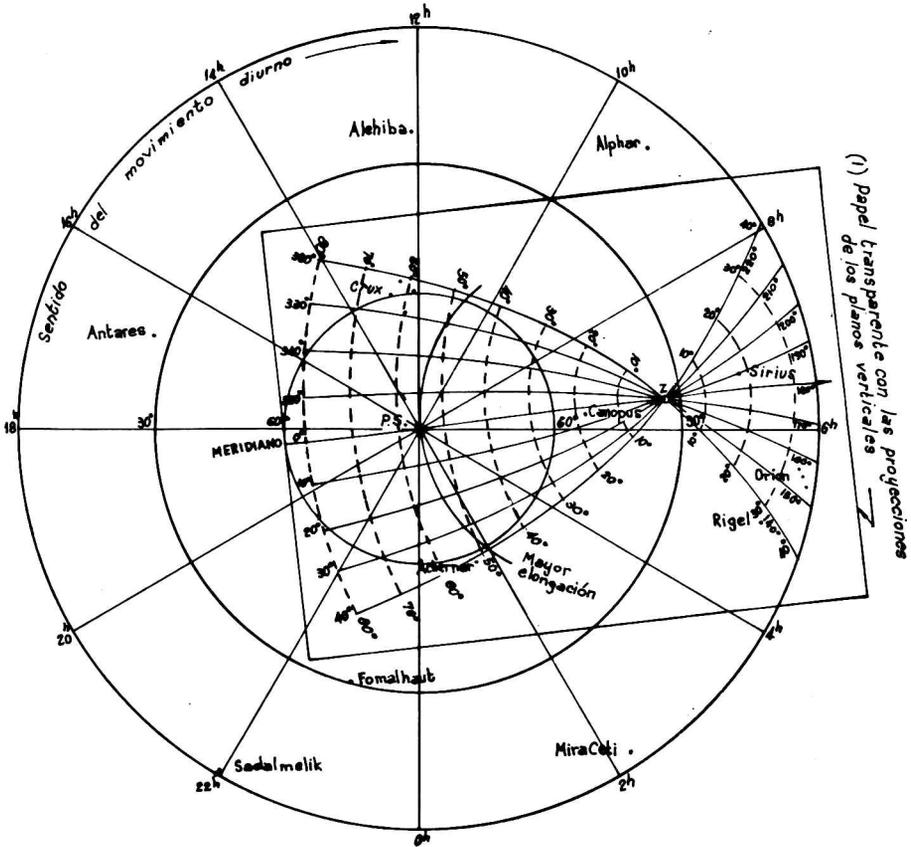
El valor φ se obtiene de la expresión (3). En las fórmulas (3) y (4) el signo más corresponde al caso de una estrella al norte y otra al sur del cenit, y el menos, para ambas al norte o al sur.

Es suficiente ubicar el meridiano con una brújula, teniendo en cuenta la declinación magnética; luego, con un azimut cualquiera próximo al meridiano, que puede diferir para determinación de latitud, diez a quince grados más o menos al este u oeste, establecer las distancias cenitales de un par de estrellas. Para determinación de azimut se procede de la misma manera, siendo conveniente elegir un vertical alejado unos 30 a 40° del meridiano, según decidiremos más adelante.

Con un solo par de estrellas se pueden hacer, para el caso de latitud, varias determinaciones a círculo izquierda y círculo derecha, variando ligeramente los azimutes entre una determinación y otra. En este caso convendrá seleccionar dos estrellas tales, que después de haber establecido el paso de la primera por los azimutes elegidos, vaya pasando la segunda por los mismos azimutes, que habrá que repetir con cuidado. En cambio, si se seleccionan varios pares de estrellas, resulta preferible establecer los pasos de ambas sin cambiar el vertical elegido; de esta manera se obtendrá una exactitud ligeramente mayor, pero será necesario seleccionar mayor cantidad de estrellas y se demorará mayor tiempo en hacer todas las determinaciones.

GRAFICO PARA FACILITAR LA ELECCION DE LAS ESTRELLAS: Para poder elegir las estrellas fácilmente, hemos preparado el gráfico de la Figura N° 1.

Sobre un papel transparente se ha trazado, empleando fórmulas derivadas del triángulo de posición, varias curvas que corresponden a la proyección sobre la carta del cielo, de otros tantos planos verticales cuyos azimutes difieren de diez en diez



(1) Haciendo girar este papel transparente con centro en el polo, sobre la carta celeste hasta que la proyección del plano vertical elegido coincida con la estrella a emplearse: permite determinar graficamente, la hora sideral y la distancia cenital en forma aproximada, pero suficiente para preparar un programa de observación. -

Figura 1

grados hacia el este y el oeste del meridiano del lugar, calculadas para la latitud aproximada del mismo, aun cuando pequeñas variaciones no tienen mayor importancia. Sobre tales curvas va indicada la distancia cenital "z". Las fórmulas de referencia son:

$$\text{sen } \delta = \text{sen } \varphi \cos z \pm \cos \varphi \text{ sen } z \cos A \tag{5}$$

$$\text{sen } t = \frac{\text{sen } z \cos A}{\cos \delta} \tag{6}$$

Para poder determinar si los valores máximos de sen t obtenidos en (6), corresponden a ángulos horarios mayores o menores de 6h, es conveniente verificar dichos valores máximos de sen t para cada valor de A, con la siguiente fórmula:

$$\operatorname{tg} \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\cos(\rho + \delta) \cos(\rho + \varphi)}{\operatorname{sen} \rho \operatorname{sen}(\rho - z)}} \quad \left(\rho = \frac{180^\circ + z - \varphi - \delta}{2} \right) (7)$$

A continuación se consigna un cuadro de valores de δ y t para $A = 10^\circ$, 20° , 30° y 40° , con los que se podrá confeccionar el mencionado gráfico para elegir estrellas en un papel transparente, sobre cualquier carta del cielo. Fue calculado para una latitud de $34^\circ 37'$, pero después de confeccionado, dicho gráfico, podrá ser utilizado en latitudes comprendidas entre: $30^\circ 30'$ y $38^\circ 30'$ aproximadamente. (Que corresponden a latitud del norte de la provincia de Córdoba y zona de Bahía Blanca, respectivamente).

z	A = 10°		A = 20°		A = 30°		A = 40°		z
	δ	t ^h							
40°							1°43'	1h37m7	40°
30°	4°58'	0h20m0	6°03'	0h39m6	7°48'	1h35m6	10°11'	1h16m3	30°
20°	14°52'	0h14m0	15°37'	0h27m9	16°52'	0h41m2	18°33'	0h53m7	20°
10°	24°45'	0h07m3	25°10'	0h15m1	25°50'	0h22m1	26°44'	0h28m7	10°
0°	34°37'	0h00m	34°37'	0h00m	34°37'	0h00m	34°37'	0h00m	0°
10°	44°26'	0h09m6	43°55'	0h18m9	43°06'	0h27m3	41°59'	0h34m5	10°
20°	54°12'	0h23m3	52°58'	0h44m8	51°02'	1h04m1	48°52'	1h17m5	20°
30°	63°47'	0h45m3	61°29'	1h23m9	58°02'	1h52m7	53°49'	2h11m9	30°
40°	72°58'	1h29m6	68°47'	2h29m6	63°17'	2h57m5	57°11'	3h18m8	40°
50°	80°24'	3h31m6	73°15'	4h21m5	65°39'	4h33m1	58°00'	4h33m3	50°
60°	80°22'	7h44m0	72°30'	6h39m7	64°19'	6h09m7	56°06'	5h45m6	60°
70°	72°55'	9h45m0	67°04'	8h18m0	59°46'	7h24m3	51°53'	6h47m6	70°
80°	63°44'	10h29m0	59°21'	9h44m6	53°11'	8h19m0	46°01'	7h38m4	80°

Nota: Los valores máximos de $\operatorname{sen} t$: (8), (9), (10) y (11), se verificaron previamente con la fórmula (7) para determinar si el valor de "t" era mayor o menor de 6h.

Si se puede disponer de un globo celeste, es totalmente innecesario el uso del gráfico que acabamos de describir, con la ventaja de que con el globo celeste se puede hacer fácilmente la elección de estrellas, para utilizar este método en cualquier latitud geográfica, sin las limitaciones que supone el uso del gráfico.

CONDICIONES FAVORABLES DE OBSERVACION: Para latitud, como se ha expresado anteriormente, conviene preferentemente, una estrella al norte y otra al sur, no muy alejadas del cenit y con distancias cenitales de poca diferencia, al solo efecto de reducir la corrección por refracción. Referente al azimut, para determinar las condiciones más favorables, diferenciando A con respecto a z_1 y z_2 a partir de la expresión (4), se llega a las siguientes expresiones:

$$\frac{\partial A}{\partial z_1} = \frac{-\operatorname{sen} z_1 \operatorname{sen} \delta_2 \operatorname{sen}(z_2 - z_1) - \cos(z_2 - z_1)(\cos z_1 \operatorname{sen} \delta_2 - \cos z_2 \operatorname{sen} \delta_1)}{\operatorname{sen} A \cos \varphi \operatorname{sen}^2(z_2 - z_1)}$$

$$\frac{\partial A}{\partial z_2} = \frac{\operatorname{sen} z_2 \operatorname{sen} \delta_1 \operatorname{sen}(z_2 - z_1) - \cos(z_2 - z_1)(\cos z_1 \operatorname{sen} \delta_2 - \cos z_2 \operatorname{sen} \delta_1)}{\operatorname{sen} A \cos \varphi \operatorname{sen}^2(z_2 - z_1)}$$

La precisión con que se puede determinar la z de paso de cada estrella, depende de la cosecante del ángulo entre la trayectoria aparente de la estrella y el hilo vertical del retículo. Para tener en cuenta ésto último, se procede de la siguiente manera: se determina la variación de azimut para pequeñas variaciones de z_1 y z_2 , reemplazando los valores de observación, en las expresiones de las derivadas primeras de A respecto de z_1 y z_2 . Luego se considera la influencia de la cosecante del ángulo de bisección, y se calcula el error medio cuadrático de un par de bisecciones z_1 y z_2 (suponiendo el error de bisección igual al error de lectura del teodolito), llegando a expresiones del estilo siguiente: (que corresponden a los puntos 2º y 3º del gráfico (2))

$$(2^\circ) \quad \left. \begin{array}{l} \Delta z_1 = 1' \mid \Delta A_1 = 0'19'' \mid \Delta A_{1 \text{ real}} = 0'19''(0,5+0,5 \operatorname{cosec} 14') = 0'49'' \\ \Delta z_2 = 1' \mid \Delta A_2 = 1'17'' \mid \Delta A_{2 \text{ real}} = 1'17''(0,5+0,5 \operatorname{cosec} 62') = 1'22'' \end{array} \right\} \Delta A = 1'35''$$

$$(3^\circ) \quad \left. \begin{array}{l} \Delta z_1 = 1' \mid \Delta A_1 = 0'23'' \mid \Delta A_{1 \text{ real}} = 0'23''(0,5+0,5 \operatorname{cosec} 14') = 0'59'' \\ \Delta z_2 = 1' \mid \Delta A_2 = 1'15'' \mid \Delta A_{2 \text{ real}} = 1'15''(0,5+0,5 \operatorname{cosec} 61') = 1'20'' \end{array} \right\} \Delta A = 1'39''$$

Con los resultados de varias observaciones, y datos extraídos del gráfico de la figura Nº 1 para elegir las estrellas sobre la carta del cielo, se prepararon las curvas de las figuras números 2, 3 y 4, que permiten decidir las condiciones favorables de observación.

En la figura Nº 2, para un vertical de $24^\circ 49'$ y la estrella α Triánguli Australis observada $1^h 10^m$ después de la mayor elongación, utilizando segundas estrellas de diferentes distancias cenitales, se advierte que conviene elegir esta última estrella en posiciones próximas al cenit. Para otros azimutes se obtuvieron curvas similares. Además, puede apreciarse en la figura Nº 2, que ΔA permanece casi estacionario para valores de z_2 comprendidos entre 0° y 15° .

En la figura Nº 3, con Achernar como estrella circumpolar y θ Centauri próxima al cenit, se determinó la influencia de bisectar la circumpolar a partir de la mayor elongación hacia el horizonte, cada media hora, advirtiendo que la curva obtenida se mantiene casi constante desde aproximadamente 30^m , hasta unas 2^h después de la mayor elongación. Curvas similares se obtienen para otras circumpolares de diferentes declinaciones. Resultan algo menos favorables, posiciones de la circumpolar comprendidas entre la elongación y el cenit.

Con las condiciones óptimas que surgen de la figura Nº 2 y 3, vale decir, la primera estrella desde unos 30^m hasta 2^h aproximadamente después de la mayor

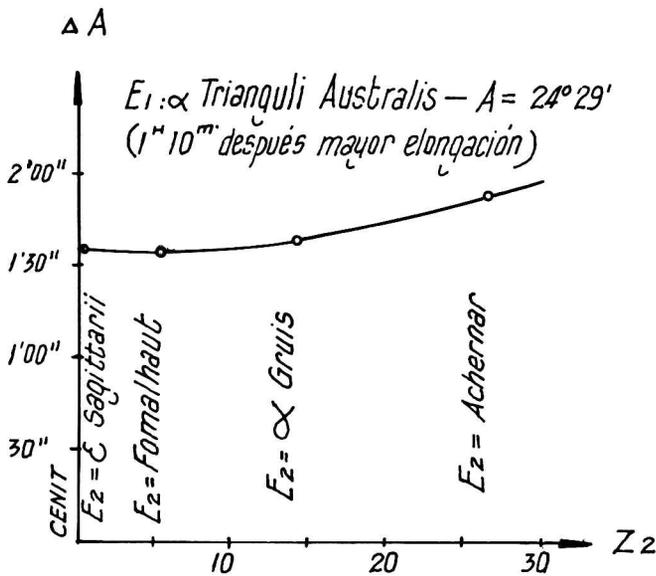


Figura 2

elongación y la segunda próxima al cenit, variando el plano vertical, se llega a la curva de la figura N^o 4, donde como puede observarse, se obtiene un error mínimo para planos verticales comprendidos entre 32 y 42^o de azimut.

OBSERVACIONES REALIZADAS: Se incluye más adelante, los resultados de algunas de las observaciones realizadas por el método expuesto. Es oportuno hacer especial mención de una de ellas, en virtud de sus características poco comunes: OBSERVACION DIURNA.

En la zona ubicada entre aproximadamente 10 y 60^o de latitud sur, un par de estrellas de condiciones óptimas para este método es Sirius y Canopus con el cual, por su gran luminosidad, pueden hacerse observaciones diurnas durante los meses de abril a setiembre de cada año. Conocida la latitud del lugar con una aproximación de más o menos medio grado, que podrá obtenerse de las cartas geográficas, aparecerán dichas estrellas dentro del campo del anteojo a la hora sidérea y distancia cenital determinadas mediante la figura N^o 5. Se hace hincapié en este par de estrellas por estas otras dos ventajas: Difieren unos 25^m de tiempo en su paso por los planos verticales próximos al meridiano, lo que constituye una apreciable ventaja práctica, ya que permite hacer las bisecciones de la primera estrella, C. I. y C. D. sin premura, antes de que pase la segunda, y además para latitudes de la zona central del país, (de 32 a 37^o), pasan una al norte y otra al sur, casi equidistantes del cenit, de manera que aparte de ser pequeñas, se compensan las correcciones por refracción de ambas estrellas

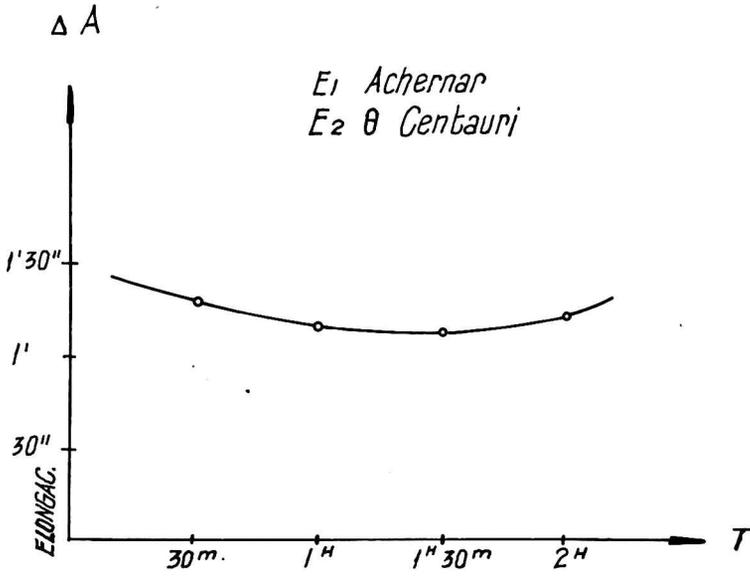
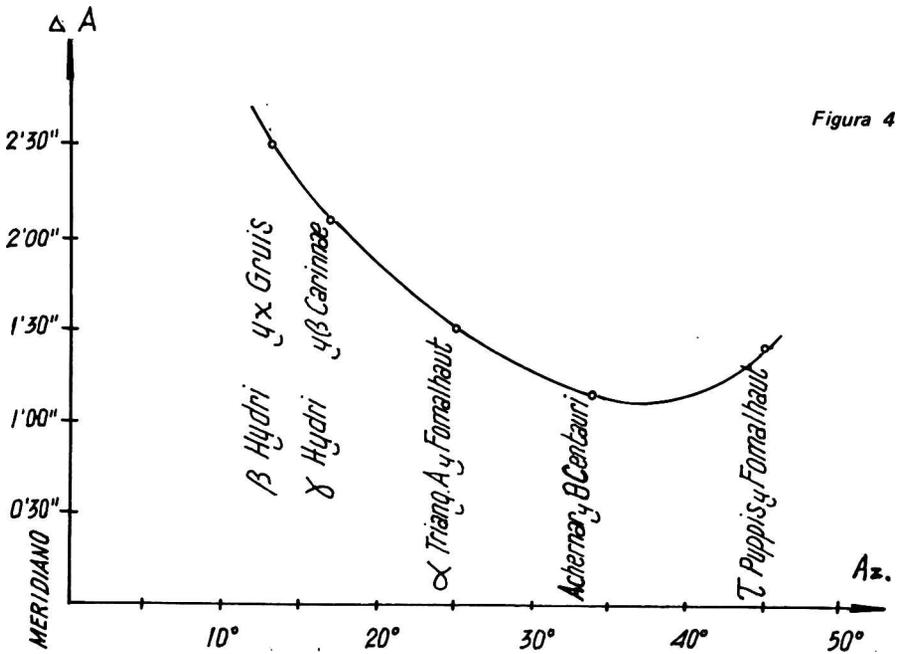


Figura 3



OBSERVACION N° 1: Día 27 de febrero de 1960. Hora: 21h27m a 21h47m T.C.
 Teodolito: Kern DK2. Sin micrómetro, lectura directa: 1', apreciación: 5 a 6".
 Con círculo aproximadamente orientado se bisectaron las estrellas en tres lecturas
 azimutales: C.D.: 13°50' C.I.: 192°00' y 190°30' (Sirius al norte y Canopus al
 sur del cenit); se obtuvieron los siguientes resultados: C.D.: Latitud: -34°36'50"
 C.I.: -34°36'57" y -34°36'51" Promedio: -34°36'52,6 ± 2,2.

OBSERVACION N° 6: Ver desarrollo completo del cálculo en las planillas si-
 guientes:

LATITUD (NUEVO METODO)
 OBSERVACION N° 6 - 14/3/60: DE 20^h22^m:20^s
 TEODOLITO: KERN, DK2 ERROR DE CENIT = 0'0":
 (1): SIRIUS

	HORA APROX.	AZIMUTAL	VERTICAL	POS. C
MIRA		202° 20' 00"		
a	20 ^h 22 ^m	195° 16'	198° 29' 35"	C.D.
b	20 ^h 24	194° 30'	198° 26' 20"	
c	20 ^h 26	193° 50'	198° 23' 35"	
d	20 ^h 29	12° 50'	161° 40' 30"	C.I.
e	20 ^h 31	12° 10'	161° 42' 50"	
f	20 ^h 33	11° 30'	161° 45' 00"	
MIRA		22° 20' 00"	—	
(2): CANOPUS				
MIRA		202° 20' 00"		
f	20 ^h 47 ^m	11° 30'	198° 33' 40"	C.D.
e	20 ^h 49	12° 10'	198° 37' 15"	
d	20 ^h 51	12° 50'	198° 41' 10"	
c	20 ^h 54	193° 50'	161° 12' 30"	C.I.
b	20 ^h 56	194° 30'	161° 08' 00"	
a	20 ^h 59	195° 16'	161° 02' 15"	
MIRA		22° 20' 00"		

REFRACCION: $D = 693 \text{ mm}$ $T = 19^\circ \text{ C.}$

$Z_1 = 18^\circ 20'$	$RN = 19''$	$A = -0.068$ $B = -0.080$	$RV = 16''$
$Z_2 = 18^\circ 45'$	$\gg 19''$	$(1+A)(1+B) = 0.850$	$RV = 16''$

NOTA: LA HORA APROXIMADA SE HA PUESTO A TITULO ILUSTRATIVO SOLAMENTE. LA MIRA SE HA EMPLEADO PARA ASEGURARSE DE LA INMOVILIDAD DEL CIRCULO AZIMUTAL.

	a	b	c	d	e	f
Z ₁	18° 29' 51"	18° 26' 36"	18° 23' 51"	18° 19' 46"	18° 17' 26"	18° 15' 26"
Z ₂	18° 58' 01"	18° 52' 16"	18° 47' 46"	18° 41' 26"	18° 37' 31"	18° 33' 58"
A (estrellas)	195 16 00	194° 30' 00"	193° 50' 00"	12° 50' 00"	12° 10' 00"	11° 30' 00"
δ ₁	-16 39 59	=	=	=	=	=
δ ₂	-52° 40' 51"	=	=	=	=	=
sen δ ₁	.286799	=	=	=	=	=
sen Z ₂	.325022	.323440	.322201	.320457	.319377	.318389
sδ ₁ x sZ ₂ (1)	.093216	.092769	.092407	.091907	.091697	.091314
sen δ ₂	.795271	=	=	=	=	=
sen Z ₁	.317258	.316366	.315608	.314480	.313836	.313237
sδ ₂ x sZ ₁ (2)	.252306	.251297	.250994	.250097	.249585	.249108
(1)+(2)=(3)	.345522	.344366	.343401	.342004	.341182	.340422
Z ₁ + Z ₂	37° 27' 51"	37° 18' 52"	37° 11' 37"	37° 01' 12"	36° 54' 57"	36° 49' 12"
sen(Z ₁ +Z ₂)(4)	.608265	.606189	.604510	.602093	.600641	.599303
sen ρ = $\frac{(3)}{(4)}$.568045	.568065	.568065	.568025	.568030	.568030
ψ	-34° 36' 50"	-34° 36' 56"	34° 36' 56"	-34° 36' 45"	34° 36' 47"	-34° 36' 47"
PROMEDIOS	C.I. = 34° 36' 54",0			C.D. = 34° 36' 46",3		
PROMEDIO GENERAL: LATITUD = 34° 36' 50",2 ± 0",9						

Planillas de observación Nº 6

OBSERVACION Nº 14: (Diurna). Día 27 de junio de 1960. Hora 13h32m a 13h59m T.C.

Teodolito: Kern DK2. Temperatura: 8,1/2°C. Presión atmosférica: 693 mm.

Estrellas: Sirius y Canopus. Con círculo aproximadamente orientado, se hicieron cuatro lecturas azimutales: C.I.: 13°50', y 13°10'; C.D.: 192°30' y 191°30'.

Resultados: C.I.: -34°36'55"; -34°36'51"; C.D.: -34°36'53" y -34°36'48".

Promedio: $-34^{\circ}36'51''.7 \pm 1''.3$.

OBSERVACION N^o 16: Día 21 de octubre de 1960. Hora: 5h50m a 6h20m T.C.
Estrellas: Sirius y Canopus. Con círculo aproximadamente orientado a brújula, se hicieron 6 lecturas azimutales: C.I.: $178^{\circ}40'$; $179^{\circ}20'$; $179^{\circ}55'$; C.D.: $0^{\circ}50'$; $1^{\circ}30'$ y $2^{\circ}10'$.

Resultados: C.I.: $-34^{\circ}36'50''$; $-34^{\circ}36'46''$ y $-34^{\circ}36'48''$.

C.D.: $-34^{\circ}36'54''$; $-34^{\circ}36'56''$ y $-34^{\circ}36'57''$.

Promedio: Latitud: $-34^{\circ}36'51''.8 \pm 0''.7$.

Para comparar los resultados obtenidos, con los de métodos clásicos, se efectuaron dos determinaciones de latitud por el método de paso de estrellas por el meridiano. Este fue determinado previamente con este objeto, por el método de "azimut por estrellas en mayor elongación". En estas observaciones se emplearon cuatro pares de estrellas, una al norte y otra al sur del cenit en cada par, y con distancias cenitales de poca diferencia.

OBSERVACION N^o 8: Fecha: 24 de marzo de 1960. Hora: 19h47m a 22h49m T.C.
Temperatura: de 13 a 9°C. Presión atmosférica: 693 mm.

Teodolito: Kern DKM2U. Con micrómetro, lectura directa: $10''$, apreciación: $2''$.

Se obtuvieron los siguientes resultados como promedio de cada par:

Latitud: $-34^{\circ}36'50''$; $-34^{\circ}36'53''.5$; $-34^{\circ}36'53''$ y $-34^{\circ}36'51''.5$.

Promedio: Latitud: $-34^{\circ}36'52''.0 \pm 0''.8$.

OBSERVACION N^o 9: Fecha 25 de marzo de 1960. Hora: 19h44m a 22h33m T.C.
Temperatura: de 20 a 17°C. Presión atmosférica: 687 mm.

Teodolito: Kern DK2. Sin micrómetro, lectura directa: $1'$, apreciación: 5 a $6''$.

También como promedio de cada par, se llegó a los siguientes resultados:

Latitud: $-34^{\circ}36'50''.5$; $-34^{\circ}36'54''.5$; $-34^{\circ}36'50''.5$ y $-34^{\circ}36'54''.0$.

Promedio: Latitud: $-34^{\circ}36'52''.4 \pm 1''.1$.

En las observaciones números 8 y 9, se emplearon las siguientes estrellas: Sirius (α Canis Majoris) y Canopus (α Carinae); ξ Canis Majoris y λ Velorum; Procyon (α Canis Minoris, en Hemisferio Boreal) y β Carinae; α Hydrae y ι Carinae.

RESULTADOS GENERALES EN LATITUD

Por el método de paso de estrellas por el meridiano:

	Peso
Observación N ^o 8: (4 pares de estrellas) Teodol. Kern DKM2U Lat: $-34^{\circ}36'52'' \pm 0''.8$	1,9
Observación N ^o 9: (4 pares de estrellas) Teodol. Kern DK2 Lat: $-34^{\circ}36'52''.4 \pm 1''.1$	1,0
Promedio ponderal = Lat: $-34^{\circ}36'52''.1 \pm 0''.6$	

Por el método expuesto: (Todas con teodolito "Kern DK2"):

Observación N ^o 1: (3 pares de bisecciones)	Lat: $-34^{\circ}36'52''.6 \pm 2''.2$	1,0
Observación N ^o 6: (6 pares de bisecciones)	Lat: $-34^{\circ}36'50''.2 \pm 0''.9$	6,0
Observación N ^o 14: (4 pares de bisecciones), (diurna)	Lat: $-34^{\circ}36'51''.7 \pm 1''.3$	2,9
Observación N ^o 16: (6 pares de bisecciones)	Lat: $-34^{\circ}36'51''.8 \pm 0''.7$	9,8
Promedio ponderal = Lat: $-34^{\circ}36'51''.4 \pm 0''.4$		

RESULTADOS EN AZIMUT

Se determinó previamente el azimut por el método de estrellas en mayor elongación, con el objeto de comparar resultados con los del método expuesto.

OBSERVACION N° 11: Fecha: 31 de marzo de 1960. Hora: 19h30m a 23h08m T.C.
Teodolito: Kern DK2.

Nueve estrellas en mayor elongación:

Estrellas bisectadas: C.I.: α Hydri; α Muscae; α Crucis; γ Crucis y β Crucis.

C.D.: α Doradus; γ Centauri y Canopus (α Carinae).

Resultados obtenidos: C.I.: 22°19'52"; 22°19'52"; 22°19'56"; 22°19'49" y 22°19'47".

C.D.: 22°19'50"; 22°19'51"; 22°19'55" y 22°19'56".

Promedio: azimut mira: 22°19'51,"8 ± 1,"0.

De las observaciones efectuadas por el método expuesto, se consignan los resultados de las realizadas en la zona favorable, determinada en la figura N° 4, azimut aproximado de 32 a 42°.

OBSERVACION N° 20: Ver desarrollo completo del cálculo en las planillas siguientes:

AZIMUT (NUEVO METODO) OBSERVAC. N° 20

FECHA 2-III-61 - DE 21^h 35^mA 23^h 10^m PRES. ATMOSF. = 692 m.m.

TEODOLITO: KERN D.K.2 ERROR DE CENIT = 0'06"

DET.	ESTR.(1)	HORA	AZIMUTAL	VERTICAL	ESTR.(2)	HORA	VERTICAL	POS. CIRC.
	MIRA		22°25'00"					CIRC. IZQ.
a	β CRUCIS	21 ^h 35	144°20'0	119°39'10"	SIRIUS	22 ^h 21	201°16'55"	
b		21 ^h 39	144°10'0	120°05'20"	ECAN. MAJ.	22 ^h 03	186°54'55"	
c		21 ^h 41	144°00'0	120°32'20"	π PUPPIS	21 ^h 57	176°59'00"	
	MIRA		22°25'0					CIRC. DER.
	MIRA		202°25'0					
d	ACHERNAR	22 ^h 36	37°05'0	243°10'20"	ζ PUPPIS	23 ^h 10	186°45'05"	
e		22 ^h 41	36°50'0	243°40'55"	π PUPPIS	22 ^h 10	183°02'35"	
f		22 ^h 46	36°36'0	244°09'15"	η CAN. MAJ.	21 ^h 53	173°24'30"	
	MIRA		202°25'0					

REFRACCION

DET.	TEMP.	Z (APAR.)	R.N	(1+A)	(1+B)	(1+A)(1+B)	R.V
a	18°	60° 20' 50"	1' 45"	9353	9105	8516	1' 29"
b	»	59° 54' 40"	1' 43"	»	»	»	1' 28"
c	»	59° 27' 40"	1' 42"	»	»	»	1' 27"
d	17°	63° 10' 20"	1' 58"	9387	»	8547	1' 41"
e	»	63° 40' 55"	2' 00"	»	»	»	1' 43"
f	»	64° 09' 15"	2' 03"	»	»	»	1' 45"

a	17°	21° 16' 55"	0' 23"	9387	9105	8547	0' 20"
b	»	6° 54' 55"	0' 07"	»	»	»	0' 06"
c	18°	3° 01' 00"	0' 03"	9353	»	8516	0' 03"
d	16°	6° 45' 05"	0' 07"	9421	»	8578	0' 06"
e	17°	3° 02' 35"	0' 03"	9387	»	8547	0' 03"
f	»	6° 35' 30"	0' 07"	»	»	»	0' 06"

	a	b	c	d	e	f
Z ₁ (VERD)	60° 22' 19"	59° 56' 08"	59° 28' 07"	63° 12' 01"	63° 42' 38"	64° 11' 00"
Z ₂ »	21° 17' 15"	6° 55' 01"	3° 01' 03"	6° 45' 11"	3° 02' 38"	6° 35' 36"
A (Mira)	22° 25' 00"	=	=	202° 25' 00"	=	=
A (Estrella)	144° 20' 00"	144° 10' 00"	144° 00' 00"	37° 05' 00"	36° 50' 00"	36° 36' 00"
δ ₁	59° 28' 28"	=	=	67° 26' 21"	=	=
δ ₂	16° 40' 01"	28° 55' 27"	37° 01' 59"	39° 53' 57"	37° 01' 58"	28° 18' 55"
COS Z ₁	.494267	.500973	.507760	.450873	.442889	.435493
SEN. δ ₂	.286808	.483682	.602272	.641424	.602272	.488346
C.Z x S δ ₁ (1)	.141788	.242296	.305810	.289201	.266740	.212671
COS Z ₂	.931770	.992722	.998413	.993062	.998588	.993384
SEN δ ₁	.861403	=	=	.842820	=	=
C.Z ₂ x S δ ₁ (2)	.802629	.855134	.860208	.836973	.841621	.837245
(2)-(1):(3)	.660828	.612838	.554398	.547772	.574891	.624574
COS φ (4)	.822996	=	=	=	=	=
Z ₁ - Z ₂	8° 39' 34"	66° 51' 09"	56° 29' 04"	56° 26' 50"	60° 40' 00"	70° 46' 36"
SEN φ = Z ₁ - Z ₂	.989423	.913498	.833573	.833377	.871784	.944242
(4) x (5) = (6)	.814291	.758741	.686029	.685886	.717475	.777107
COS A = (6)	.811554	.803838	.808126	.798657	.801269	.803717
AZ. (Est.)	35° 45' 07"	35° 55' 12"	36° 05' 12"	36° 59' 52"	36° 44' 55"	36° 30' 52"
AZ. mira	22° 19' 53"	22° 19' 48"	22° 19' 48"	22° 19' 52"	22° 19' 55"	22° 19' 51"
PROMEDIOS	C.I = AZ. = 22° 19' 49", 7			C.D = AZ. = 22° 19' 52", 7		
PROMEDIO GENERAL	= AZIMUT MIRA = 22° 19' 51" ± 1", 2					

OBSERVACION N^o 21: Fecha 23 de marzo de 1961, hora 20h15m a 21h50m T.C.
Teodolito: Kern DK2. Temperatura: de 22 a 18°C. Presión atmosférica: 689 mm.
Estrellas circumpolares: β Crucis y Achernar (α Eridani).

Próximas al cenit: Sirius; ξ Canis Majoris; π Puppis; ζ Puppis; π Puppis y η Canis Majoris.

Resultados: C.I.: 22°19'56"; 22°19'48"; 22°19'51".

C.D.: 22°19'58"; 22°19'56"; 22°19'53".

Promedios azimut mira: 22°19'53',7 \pm 1',2

Promedio ponderal de las observaciones números 20 y 21: azimut mira: 22°19'52',4 \pm 1',2. Buen resultado comparándolo con el de la observación N^o 11: (9 estrellas en mayor elongación).

RENDIMIENTO: Para una variación de un minuto en z_1 y z_2 para verticales próximos al meridiano, se obtiene en latitud una variación: $\Delta\varphi_1 = 37''$ y $\Delta\varphi_2 = 22''$ o sea, un error medio cuadrático $\Delta\varphi = 43''$. En azimut se obtuvo, en observaciones practicadas en la zona favorable, el siguiente rendimiento: para Δz_1 y $\Delta z_2 = 1'$; $\Delta A_1 = 35''$ y $\Delta A_2 = 55''$ o sea un error: $\Delta A = 1' 0'',5$ - en concordancia con lo consignado en la curva de la figura N^o 4.

METODO OPERATIVO: Con la ayuda de un globo celeste, o valiéndonos de un gráfico similar al de la figura N^o 1, preparado especialmente para intervalos de 10 en 10° de distancia cenital y también intervalos de 10 en 10° de azimut al este y oeste del meridiano, se pueden determinar gráficamente, la hora sidérea y las distancias cenitales aproximadas del paso del par de estrellas por los verticales próximos al meridiano de antemano elegidos. De esos pares, se seleccionarán los que reúnan las siguientes condiciones:

a) Para latitud; conviene, preferentemente, una estrella al norte y otra al sur, no muy alejadas del cenit y con distancias cenitales de poca diferencia, al solo efecto de reducir a un mínimo la corrección por refracción. Preferiblemente se harán las lecturas del paso de un mismo par de estrellas por los distintos verticales, con la diferencia de tiempo suficiente para bisectar y anotar. Vale decir, se anotarán las distancias cenitales del paso de la primera estrella por los verticales elegidos y luego, las de la segunda estrella por los mismos verticales que hay que repetir cuidadosamente, a cuyo efecto convendrá controlar con la lectura de la mira, si no se ha producido algún corrimiento del círculo azimutal. Este control deberá efectuarse antes del paso de la primera estrella por el primero de los verticales elegidos, después del paso de la misma por el último de los verticales, y en la misma forma se procederá con la segunda estrella. Conviene además efectuar la mitad de las lecturas correspondientes a la primera estrella con círculo a la izquierda y la otra mitad con círculo a la derecha a fin de eliminar errores instrumentales. Idéntico procedimiento se seguirá con la segunda estrella.

b) Para azimut: Siempre valiéndose del globo celeste, o del gráfico de la figura N^o 1 para elegir las estrellas, conviene emplear planos verticales aproximadamente entre 32 y 42° de azimut, al este u oeste del meridiano. El par de estrellas conveniente es una circumpolar y otra próxima al cenit. La circumpolar es preferible bisectarla entre la mayor elongación y el horizonte. La posición más

favorable de esta última estrella es en el intervalo comprendido entre 30 minutos después de la mayor elongación y alrededor de dos horas después, si está al oeste del meridiano, o en el intervalo entre aproximadamente dos horas antes y media hora antes de la mayor elongación, si está al este. Resultan algo menos favorables, posiciones de la circumpolar desde la mayor elongación hacia el cenit.

VENTAJAS DEL METODO: En latitud: 1º) Solo es necesario el conocimiento aproximado del meridiano, el que puede ser determinado empleando una brújula.

2º) Es independiente del tiempo, necesitándose conocerlo en forma grosera a fin de preparar el programa; no exige por tanto, la corrección del reloj.

3º) Basta observar un solo par de estrellas, con el que pueden hacerse varios pares de bisecciones, a C.I. y C.D.

4º) La observación puede realizarse en pocos minutos. (Se hicieron seis pares de bisecciones en treinta minutos), en observación N° 16.

En azimut: (Con respecto al método de azimut por estrellas en mayor elongación):

1º) No es necesario esperar el instante de la mayor elongación, sino que se pueden hacer con una o dos circumpolares, varias determinaciones a C.I. y C.D., entre la mayor elongación y el horizonte, siempre con el auxilio de una segunda estrella próxima al cenit.

2º) Se demora menos tiempo en hacer las observaciones.

Todas las observaciones fueron hechas en "San Rafael", Mendoza, a 680,3 m de altura sobre el nivel del mar.