

## RESULTADOS DE TIEMPO Y LATITUD EN LA EARG

C.A. Mondinalli y R.A. Perdomo

Observatorio Astronómico de La Plata y EARG,  
ArgentinaJ.L. Hormaechea  
CONICET, EARG, Argentina

RESUMEN. Se analizan los resultados de Tiempo y Latitud obtenidos en la Estación Astronómica Río Grande con el Astrolabio de Danjon OPL 01, desde su instalación en marzo de 1979 hasta mediados de 1983.

Se discute la precisión de los acuerdos interno y externo, la presencia de ecuaciones personales, de efectos no polares, correlación residuos - magnitud - color, etc.

ABSTRACT. Time and Latitude results from the Río Grande station since the starting of operation (March 1979), are investigated. Internal and external precision are shown. Special attention is focused on apparent zenith distance variations, seasonal, personal and other effects. Observations consist of 700 groups (20000 transits).

## INTRODUCCION

Sobre la base de unos 900 grupos observados con el Astrolabio OPL 01 en la Estación Astronómica Río Grande (EARG), Longitud:  $4^{\text{h}}31^{\text{m}}00^{\text{s}}.33$  W; Latitud:  $53^{\circ} 47' 09''.8$  S se realiza un análisis de los acuerdos internos y externos de las observaciones.

Los resultados de Tiempo y Latitud se comparan contra una referencia externa dada por los parámetros que describen la rotación de la Tierra (x, y, TUI-TUC) derivados por el Bureau International de L'Heure (BIH), Circular D. En lo que sigue hablaremos de diferencias EARG-BIH en el sentido siguiente:

$$\Delta\phi_{\text{EARG}} - \Delta\phi_{\text{BIH}} = \Delta\phi_{\text{obs}} - (x \cos \lambda_0 + y \sin \lambda_0)$$

$$\Delta T_{\text{EARG}} - \Delta T_{\text{BIH}} = \Delta T_{\text{obs}} - \left[ \tan \phi_0 (-x \sin \lambda_0 + y \cos \lambda_0) + \text{TUI} - \text{TUC} \right]$$

La tercera incógnita en la resolución de un grupo de Astrolabio es la distancia cenital aparente de observación (dz) para la que no existe referencia externa posible. Siendo esta incógnita afectada por errores instrumentales, medidas auxiliares, refracciones anómalas, etc. merecerá un análisis independiente en el que se mostrará que su comportamiento es bueno frente a la mayoría de las discusiones que se encuentran en la literatura.

## 1. Precisión de los resultados

El acuerdo interno de un grupo queda caracterizado por el error medio cuadrático de una observación aislada ( $\sigma$ ). Durante los dos primeros años de observación no se aplicaron correcciones de alisado interno (CLI) y el  $\bar{\sigma}$  resultó  $0''.39$ . Luego de la aplicación de CLI y considerando la totalidad del material aquí analizado el  $\bar{\sigma}$  resultó  $0''.228$ , poniendo de manifiesto la magnitud de los errores de catálogo en la zona de la EARG.

En la Tabla 4 se hace un análisis de los resultados por grupo, y en la última co-

luma figura  $\bar{\sigma}$  para cada grupo a lo largo de todo el período considerado. Puede apreciarse que  $\bar{\sigma}$  no depende del grupo. Tampoco aparecen efectos notables si fueran agrupados según las estaciones del año.

En lo que hace a la precisión del acuerdo externo, por el método expuesto en la introducción se obtuvieron todas las diferencias EARG - BIH en  $\Delta T$  y  $\Delta \phi$  y estas diferencias fueron tratadas como residuos, para obtener el error medio de una observación con peso medio, resultando

$$\sigma_{\Delta T} = 0^s.013 \quad \sigma_{\Delta \phi} = 0''.10$$

Señalemos que estas diferencias presentan un carácter sistemático que se mostrará más adelante, por lo que estos valores constituyen una cota superior de la precisión externa.

Las correcciones de alisado interno se obtuvieron con un número variable de grupos (entre 23 y 41). En todos los casos se usaron grupos quasi-completos (25 estrellas o más). A partir de los residuos promedio por estrella se calcularon las correcciones de alisado interno por el método descrito en S. Débarbat y B. Guinot (1970) y se re-redujeron todas las observaciones.

Un número pequeño de grupos fue eliminado (2 %) por falta de acuerdo entre los valores individuales y los CLI adoptados en la primera aproximación. Se obtuvieron a continuación los CLI definitivos sin otra ponderación, basados en la homogeneidad del material resultante (96 % de grupos con  $\sigma \leq 0''.25$ ).

## 2. Correlación CLI - Magnitud - Color

Se agruparon los CLI promedio por rango de magnitud y tipo espectral. Los resultados pueden verse en la Fig. 1a. Los tipos espectrales se separaron en dos grandes clases OBAF - GKM

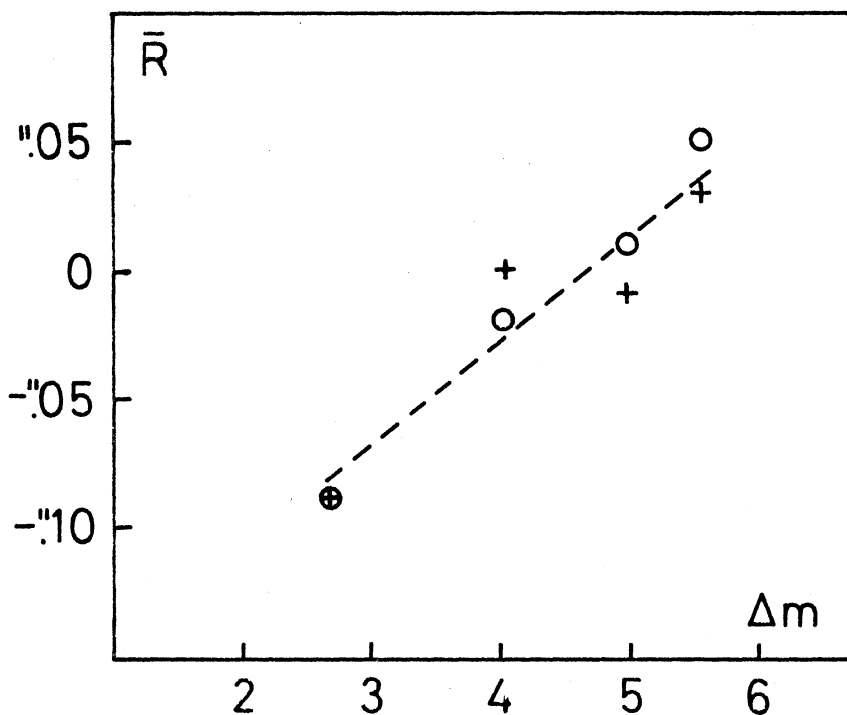


Fig. 1a. Correlación residuos - Magnitud - Color.  
Tipos espectrales + OBAF  
o GKM

y cada una de éstas se agrupó por rangos de magnitud. Se puede ver que hay una relación lineal bien marcada y muy semejante para ambas clases de tipo espectral.

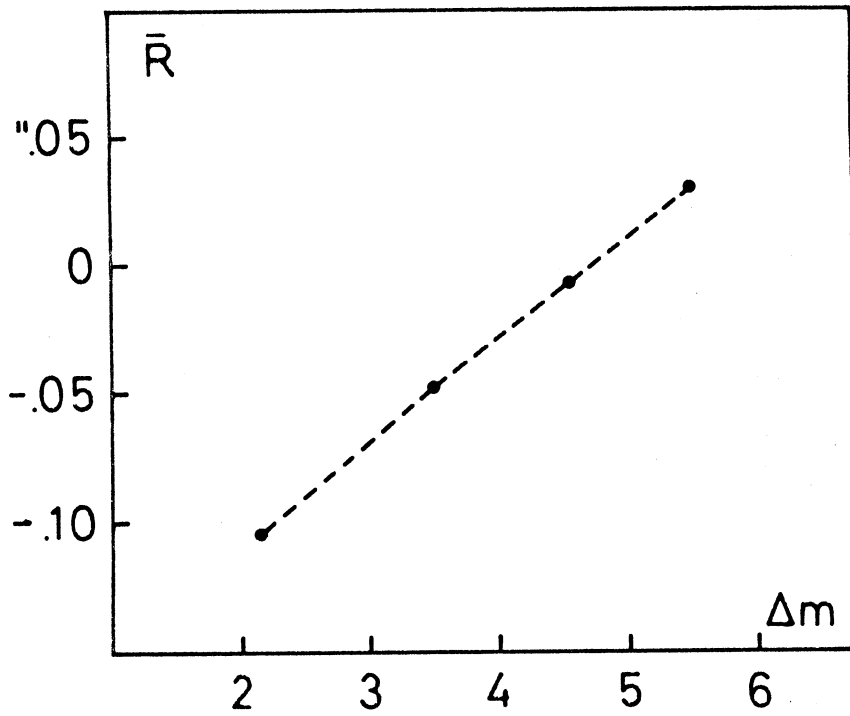


Fig.1b. Correlación residuos - magnitud.

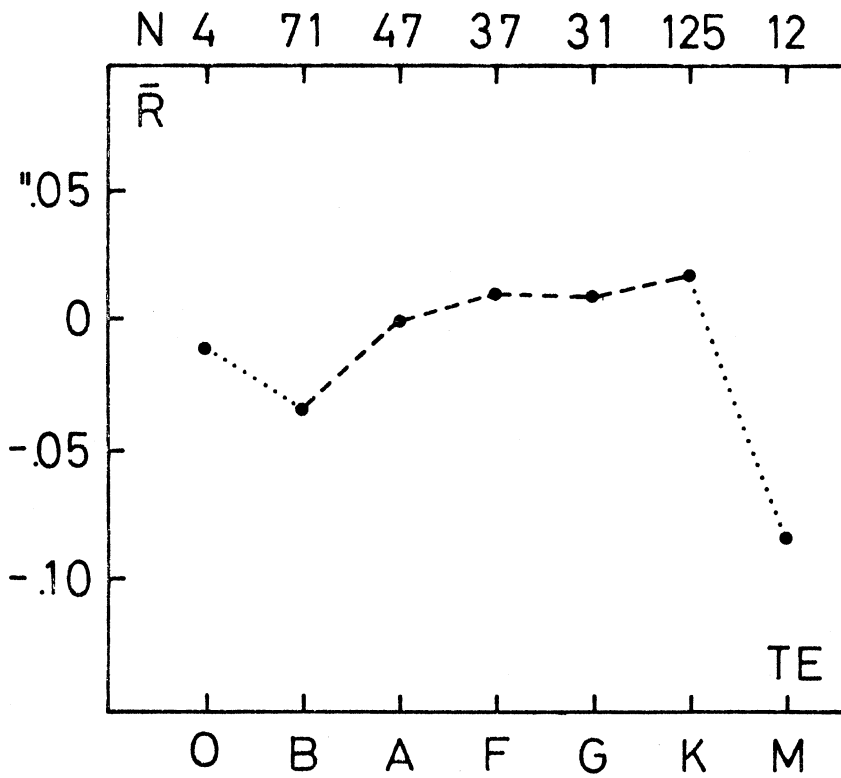


Fig. 1c. Correlación residuos - tipo espectral.

Como lo confirman las Fig. 1b y 1c en las que se muestran las correlaciones individuales con la magnitud y el tipo espectral, la ecuación de magnitud es bien clara y no existe, al contrario, dependencia marcada de los CLI con los tipos espectrales a excepción de los tipos extremos O y M cuyo número de puntos es muy pobre.

Ya que una ecuación de este tipo afecta las correcciones  $\Delta\delta$  que es posible obtener para las estrellas de doble pasaje a partir de los CLI, se optó por aplicar la corrección empírica siguiente:

$$\Delta(\text{CLI}) = - 0^{\text{h}}0406 \text{ mg} + 0^{\text{h}}1904$$

Se realizó también un estudio por observador, en los grupos cuyo número lo permitía. Para ello se obtuvieron CLI por observador y las diferencias se agruparon por magnitud. Ningún efecto destacable fue detectado.

### 3. Correcciones de Grupo

Las correcciones de grupo se obtuvieron luego de la aplicación de los CLI y la reducción del material. Se formaron las diferencias sistemáticas para grupos consecutivos (mismo observador, misma noche, buen acuerdo interno y externo) cuyos valores medios pesados se muestran en la Tabla 1. Se aplicó el tradicional método en cadena (por ejemplo B. Guinot 1958).

TABLA 1  
DIFERENCIAS SISTEMÁTICAS ENTRE GRUPOS CONSECUTIVOS

GRUPOS	$\Delta T$ s,0001	$\epsilon_T$	$\Delta\phi$ ",001	$\epsilon_\phi$	$dz$ ",001	$\epsilon_z$
2-1	+ 32	33	+ 9	19	+ 38	35
3-2	+ 69	21	- 218	22	+ 35	21
4-3	- 154	25	+ 518	22	- 29	25
5-4	+ 162	18	- 254	19	+ 196	29
6-5	+ 6	22	- 8	33	- 54	41
7-6	+ 128	18	+ 62	22	- 22	22
8-7	- 179	22	+ 21	18	+ 108	26
9-8	+ 51	31	- 62	30	+ 30	27
10-9	+ 10	22	- 105	24	- 141	24
11-10	+ 21	24	- 95	23	+ 62	25
1-11	- 49	22	- 20	17	+ 31	28
CIERRE	+ 98	$\pm$ 79	- 154	$\pm$ 77	+ 255	$\pm$ 93

Como los errores de cierre no son demasiado grandes, se procedió a una repartición en función de las diferencias sistemáticas, no sin antes buscar una justificación para el error de cierre en  $dz$ , siguiendo la abundante literatura al respecto. En particular, L.B. Ferreira Clauzet 1982, realiza un estudio de diferentes métodos para tratar el problema de la variación diurna del ángulo del prisma principal del Astrolabio y concluye que en general podría adoptarse un método sencillo y accesible a todos que consiste en resolver la ecuación

$$dz_{k+1} - dz_k = \delta_{k+1,k} + g\Delta t$$

donde los  $\Delta$  resultarían las correcciones *limpias* de una variación  $g\Delta t$  en el ángulo del prisma, debida a una diferencia de temperatura aire-instrumento.

Aplicado este método a todas las diferencias  $(dz_{k+1} - dz_k)$ , obtenidos los  $\delta_{k+1,k}$  y el factor  $g$  ( $0^{\text{h}}105/^{\circ}\text{C}$  temperatura) se halló la dispersión característica de los residuos individuales que deja esta función.

Por otro lado, se hallaron los residuos de las diferencias sistemáticas individuales respecto de su promedio pesado, lo que permitió obtener también una dispersión característica.

Ambas dispersiones resultaron prácticamente iguales y se concluyó que la aplicación de esta función no mejora el acuerdo entre los valores individuales de las diferencias sistemá-

ticas.

Se encuentra en la literatura que el método funciona muy bien para cierres en dz mayores o del orden de un segundo de arco. Es decir, cuando la variación del ángulo del prisma por gradiente de temperatura adquiere un papel preponderante respecto de los otros errores sistemáticos que afectan a dz. Como nuestro valor de cierre es sensiblemente menor a los valores típicos, se puede concluir que este efecto no es preponderante y la razón es seguramente el clima peculiar de Río Grande con variaciones lentas de temperatura, vientos casi siempre presentes que contribuyen a estabilizar rápidamente el albergue del Astrolabio y la precaución de abrirlo cada noche con suficiente antelación respecto de la hora del primer grupo a observar.

Las correcciones de grupo finalmente adoptadas se muestran en la Tabla 2 y fueron aplicadas a todos los resultados para hacer el análisis del acuerdo externo que se detalla a continuación.

TABLA 2

CORRECCIONES DE GRUPO

GRUPOS	$\Delta T$ s,0001	$\epsilon_T$	$\Delta \phi$ ",001	$\epsilon_\phi$	dz ",001	$\epsilon_Z$
1	+ 45	24	+ 105	20	+ 33	27
2	+ 22	23	+ 80	20	+ 21	27
3	- 39	23	+ 284	21	+ 8	27
4	+ 126	21	- 253	22	+ 67	28
5	- 26	21	- 12	23	- 105	29
6	- 23	21	- 17	24	- 27	27
7	- 144	21	- 91	23	+ 14	27
8	+ 42	22	- 123	23	- 76	26
9	+ 4	24	- 81	23	- 73	25
10	+ 3	24	+ 12	22	+ 90	25
11	- 10	24	+ 95	20	+ 48	26

4. Acuerdo externo Río Grande-BIH

Las diferencias EARG-BIH en Tiempo y Latitud se establecieron para todos los resultados publicados oportunamente (627 grupos). El promedio de esas diferencias en cada coordenada  $\delta_{\Delta T} = - 0^s0166 \pm 0,0005$  y  $\delta_{\Delta \phi} = + 0",005 \pm 0,004$  representa los errores en las coordenadas adoptadas respecto del sistema BIH. Una consideración interesante es que el promedio por año es sensiblemente constante en latitud pero sufrió un pequeño salto en  $\delta_{\Delta T}$  desde 1982 en adelante, al que hasta el momento no se le encuentra explicación alguna y es sin duda la causa principal del relativamente bajo peso en Tiempo que el BIH le adjudica a la EARG (Annual Report, 1982).

TABLA 3

DIFERENCIAS SISTEMATICAS (EARG-BIH) POR OBSERVADOR

OBS	N	$\overline{\delta(\Delta T)}$ s,0001	$\epsilon_T$	$\overline{\delta(\Delta \phi)}$ ",001	$\epsilon_\phi$	$\overline{dz}$ ",001	$\overline{\sigma}$ ",001
B	67	- 134	± 11	- 21	± 10	1471	209
I	140	- 148	10	- 1	8	1689	221
P	109	- 201	16	+ 41	10	1767	224
L	187	- 178	8	+ 10	6	1892	204
R	74	- 187	15	+ 8	14	1463	313

La Tabla 3 muestra las diferencias promedio EARG-BIH agrupadas por observador y de ella se desprende que existen ecuaciones personales que no son importantes (alcanzan a  $0^s003$  en  $\Delta T$  y  $0",03$  en  $\phi$ ). La columna dz, al contrario, muestra efectos personales de varios décimos de segundo de arco por lo que nuevamente el acuerdo externo en dz merecerá un tratamiento especial.

Si se asume que los observadores con mayor número de grupos no presentan ecuaciones personales significativas, se pueden reagrupar las diferencias por grupo, ignorando las correcciones personales. Los resultados se muestran en la Tabla 4. A partir de ellos pueden obtenerse *diferencias sistemáticas globales* para grupos consecutivos que serán una medida de la bondad de las correcciones de grupo aplicadas a los resultados. La Tabla 5 muestra los resultados de este test. El procedimiento de diferencias sistemáticas globales se aplicó a los valores de la Tabla 4 y a su similar obtenida de repetir el análisis sin aplicar correcciones de grupo.

TABLA 4

## DIFERENCIAS SISTEMATICAS (EARG-BIH) POR GRUPO

GRUPO	N	$\overline{\delta(\Delta T)}$ s,0001	$\epsilon_T$	$\overline{\delta(\Delta\phi)}$ ",001	$\epsilon_\phi$	$\overline{dz}$ ",001	$\overline{\sigma}$ ",001
1	59	- 130	$\pm$ 20	+ 30	$\pm$ 10	1737	231
2	53	- 102	16	+ 60	12	1636	224
3	48	- 107	16	+ 45	12	1691	229
4	50	- 124	16	+ 39	14	1713	214
5	53	- 156	17	+ 35	12	1623	246
6	67	- 173	15	+ 16	12	1648	225
7	70	- 163	16	- 11	12	1715	222
8	50	- 187	18	- 50	11	1725	228
9	55	- 232	15	- 53	12	1743	249
10	59	- 237	16	- 32	13	1791	216
11	63	- 189	14	+ 5	10	1742	223

TABLA 5

## "TEST" CORRECCIONES DE GRUPO EN TIEMPO Y LATITUD

GRUPO	con correcciones de grupo				sin correcciones de grupo			
	$\overline{\delta(\Delta T)}$ s,0001	DIF <sub>T</sub>	$\overline{\delta(\Delta\phi)}$ ",001	DIF <sub><math>\phi</math></sub>	$\overline{\delta(\Delta T)}$ s,0001	DIF <sub>T</sub>	$\overline{\delta(\Delta\phi)}$ ",001	DIF <sub><math>\phi</math></sub>
1	- 130		+ 30		- 175		- 75	
2	- 102	+ 28	+ 60	+ 30	- 124	+ 51	- 20	+ 55
3	- 107	- 5	+ 45	- 15	- 68	+ 56	-239	-219
4	- 124	- 17	+ 39	- 6	- 250	-182	+292	+531
5	- 156	- 32	+ 35	- 4	- 130	+120		-245
6	- 173	- 17	+ 16	- 19	- 150	- 20	+ 33	- 14
7	- 163	+ 10	- 11	- 27	- 19	+131		+ 47
8	- 187	- 24	- 50	- 39	- 229	-210	+ 80	- 7
9	- 232	- 45	- 53	- 3	- 236	- 7	+ 28	- 45
10	- 237	- 5	- 32	+ 21	- 240	- 4	- 44	- 72
11	- 189	+ 48	+ 5	+ 37	- 179	+ 61	- 90	+ 46
		+ 59		+ 25		+ 4		+ 15
	$\sigma$	$\pm$ 33		$\pm$ 25		$\pm$ 109		$\pm$ 201

Se concluye de la Tabla 5 que las correcciones de grupo utilizadas son bien representativas del comportamiento de todos los resultados. Como se puede ver la dispersión característica de las diferencias sistemáticas con y sin correcciones de grupo disminuyó de 0,011 a 0,003 en Tiempo y de 0,20 a 0,02 en Latitud. Esto es muy importante puesto que las correcciones de grupo se obtuvieron con un porcentaje relativamente pequeño de observaciones (grupos consecutivos con buen acuerdo interno y externo y aceptable número de estrellas).

### 5. "TEST" correcciones de grupo en dz.

Las correcciones de grupo en dz no se pueden ponderar con un procedimiento análogo si primero no se corrigen de las ecuaciones personales que se observan en la Tabla 3, por lo que se procedió de la forma siguiente:

a) Se obtuvieron los promedios de dz por grupo para cada observador; la suma sobre todos los grupos está libre de las correcciones de grupo y representa el dz de cada observador.

Observador	$\overline{dz}$	Corrección Personal
B	1,482	+ ,222
I	1,677	+ ,027
L	1,897	- ,193
P	1,761	- ,057
	1,704	

Las diferencias respecto del *observador medio* son las ecuaciones personales en dz que son sensiblemente parecidas a las de la Tabla 3 en que se utilizó un procedimiento menos cuidadoso.

b) Se aplicaron estas ecuaciones personales a todos los dz individuales y se rehicieron los promedios por grupo de la misma manera que para confeccionar la Tabla 4. Se procedió de forma similar para obtener las diferencias sistemáticas globales con y sin correcciones de grupo. Los resultados del test se muestran en la Tabla 6. Como se puede ver la dispersión característica disminuyó de 0,082 a 0,045.

TABLA 6

"TEST" CORRECCIONES DE GRUPO EN DZ

GRUPO	con correcciones de grupo		sin correcciones de grupo	
	$\overline{dz}$ ",001	$dif_z$	$\overline{dz}$ ",001	$dif_z$
1	1719		1686	
2	1636	- 83	1615	- 71
3	1654	+ 18	1646	+ 31
4	1648	- 6	1581	- 65
5	1616	- 32	1721	+140
6	1655	+ 39	1682	- 39
7	1708	+ 53	1694	+ 12
8	1738	+ 30	1814	+120
9	1779	+ 41	1852	+ 38
		+ 29		-134

TABLA 6 (continuación)

GRUPO	con correcciones de grupo		sin correcciones de grupo	
	$\overline{dz}$ ",001	$dif_z$	$\overline{dz}$ ",001	$dif_z$
10	1808	- 37	1718	+ 5
11	1771	- 52	1723	- 37
	$\sigma \pm$	45		$\pm$ 82

Cabe agregar que la representación gráfica de los  $dz$  por grupo (con correcciones personales y de grupo aplicadas), Fig. 2c, muestra un comportamiento decididamente sistemático con una periodicidad anual muy marcada: bajos  $dz$  en los grupos de verano-otoño y altos en invierno-primavera. Ensayaremos una explicación más adelante.

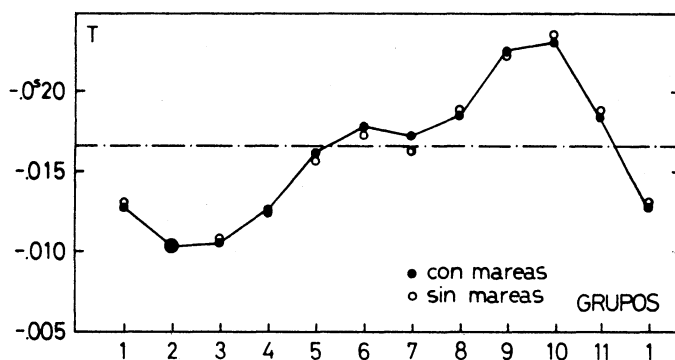


Fig. 2a. Diferencias "RG-BIH" en tiempo.

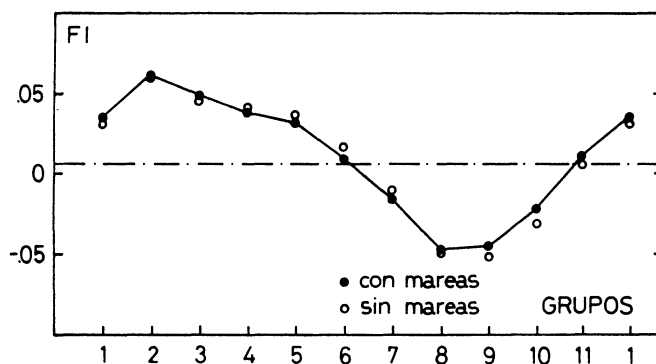


Fig. 2b. Diferencias "RG-BIH" en latitud.

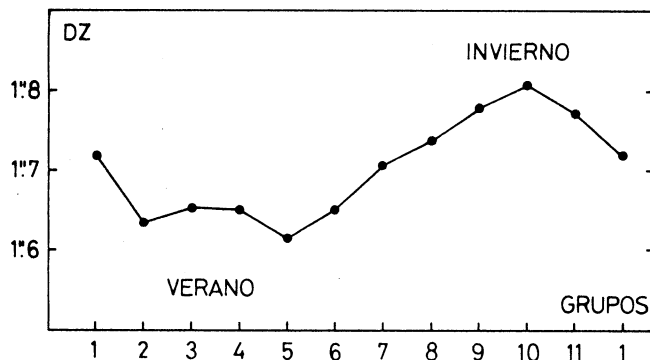


Fig. 2c. Variación de dz.

#### 6. Variaciones no polares de los resultados.

Las Fig. 2a y 2b muestran los valores de  $\delta\Delta_T$  y  $\delta\Delta_\phi$  por grupo de la Tabla 4, donde se puede ver que, al igual que dz, tienen variaciones estacionales importantes. Dibujados en un sistema  $X(15\delta\Delta_T \cos\phi_0)$ ,  $Y(\delta\Delta_\phi)$  se obtiene la Fig. 3 que representa las variaciones no polares del cenit de Río Grande respecto del sistema BIH.

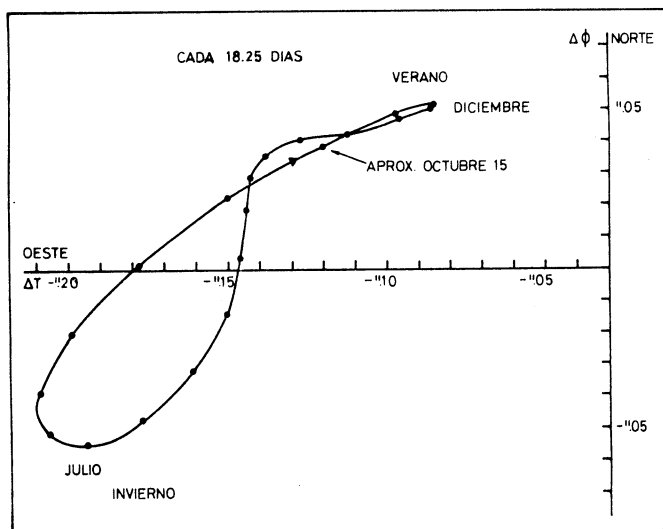


Fig. 3. Variaciones no polares del cenit en Río Grande.

Estos puntos se encuentran más o menos alineados en una dirección bien definida que no es cualquiera si consideramos la geografía del lugar de emplazamiento de la Estación. En efecto, esta dirección es perpendicular a la costa de la Isla Grande de Tierra del Fuego, de la cual la Estación dista unos 5 km.

Estas variaciones existen en mayor o menor medida en todas las estaciones que contribuyen con sus observaciones al BIH. Se señalan como causas más frecuentes los errores en las constantes astronómicas, del catálogo empleado, variaciones locales de la vertical, etc.

Sin duda todas ellas están presentes en la Fig. 3, pero tal vez exista otra, preponderante en este caso, dada la particular situación geográfica de la Estación: un comportamiento distinto de la refracción atmosférica según se observe en la dirección del mar o hacia el inte-

rior de la Isla. Un sencillo razonamiento permitiría justificar también el comportamiento estacional de  $\delta z$  en la Fig. 2c.

En efecto, la influencia térmica del mar actúa *enfriando* en verano y *calentando* en invierno. Su acción es máxima hacia los acimutes cercanos a  $45^\circ$  y mínima en  $225^\circ$ .

Si los valores locales de presión y temperatura a partir de los que se calcula la refracción son representativos de la atmósfera en la región influenciada por el mar, las estrellas observadas hacia el interior de la Isla sufrirán errores en las distancias cenitales calculadas. Estos errores cambiarán de signo según la estación del año. Agrandando el círculo de altura ( $\delta z$ ) en invierno-primavera y arrastrando el centro del círculo (cenit) hacia el SW, y a la inversa en verano-otoño. Este razonamiento, especulativo por el momento, será motivo de un análisis más profundo en el futuro.

Por otra parte un efecto similar sobre las variaciones del cenit en Santiago de Chile es citado por F. Noël (1972) al analizar observaciones de Astrolabio y arriba a análoga conclusión.

## 7. Sobre las mareas oceánicas.

Como Apéndice 8-2 de los MERIT-Standards el IPMS distribuyó entre las estaciones astrométricas un resumen de un trabajo de Sasao y Sato (1983) sobre el efecto de las mareas oceánicas sobre los resultados de Tiempo y Latitud como consecuencia de las variaciones de la vertical del lugar. Greenwich, San Fernando y Río Grande son las únicas estaciones para las que el efecto es importante (puede exceder  $0''.010$ ).

Por esta razón se aplicaron correcciones por mareas a todos los resultados, se recalcularon las correcciones de grupo, sobre las que la influencia es más notable puesto que las variaciones más significativas tienen períodos cercanos a medio día. Se repitieron las comparaciones EARG-BIH obteniéndose una casi imperceptible mejora de las dispersiones.

Se repitió el "test" de las correcciones de grupo como se explicó antes (Tabla 5) y los resultados muestran una ligera mejora general, en particular los  $\sigma$  en el sentido de la Tabla 5 son los que siguen:

	Tiempo	Latitud
Con Marea	$\pm 5.0031$	$\pm .023$
Sin Marea	$\pm .0033$	$\pm .025$

En las Figs. 2a y 2b se muestran también los efectos de la aplicación de estas correcciones, que son suficientemente pequeñas (como cabía esperar a-priori) y en nada modifican el aspecto general de dichas curvas.

## AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su reconocimiento al equipo de observadores de la EARG señores F.J. Buján, L.H. Barbero, R. Ituarte, D. Pirillo y A. Rodríguez por la continuidad del trabajo realizado aún en las condiciones más adversas, sin el cual estos resultados no hubieran sido posibles, así como al señor Adrián Brunini (OALP) por su colaboración en la reducción de las observaciones.

## REFERENCIAS

- Bureau International de l'Heure 1982, *Annual Report*.  
 Débarbat, S. y Guinot, B. 1970, *La Méthode des Hauteurs Egales en Astronomie*.  
 Ferreira Clauzet, L.B. 1982, Tese Doutorado, Sao Paulo, Brasil.  
 Guinot, B. 1958, *Bull. Astron.* 22, 1.  
 Noël, F. 1972, *IAU Symposium No 48*.  
 Sasao, T., Sato, T. 1983, *Ninth Int. Symp. on Earth Tides*, New York, 1981.

César A. Mondinali, Raúl A. Perdomo y J.L. Hormaechea: Observatorio Astronómico de La Plata, Paseo del Bosque s/n°, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.