

Universidad Complutense - Facultad de Ciencias
Matemáticas - Madrid

SEMINARIO DE ASTRONOMIA Y GEODESIA
(Coordinado con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
Departamento de Mecánica y Astronomía)

Publicación núm. 103

DETERMINACION DE LA LATITUD
POR EL METODO DE STERNECK

Programas de Cálculo Automático

por

M. J. SEVILLA y A. NUÑEZ



PUBLICADO EN «TÉCNICA TOPOGRÁFICA»
VOL. VII, NÚMS. 27 Y 28

MADRID
1979

DETERMINACION DE LA LATITUD POR EL METODO DE STERNECK

Por M. J. SEVILLA y A. NUÑEZ
Facultad de Ciencias Matemáticas
Universidad Complutense de Madrid

1.- FUNDAMENTOS DEL METODO

Es un método de primer orden para la determinación de la latitud astronómica de un lugar. Se basa en la observación de estrellas en sus pasos meridianos midiendo sus distancias cenitales correspondientes a dichos pasos.

Por lo tanto el instrumento de observación ha de situarse en el meridiano del lugar con la mayor precisión posible, para lo cual será necesario efectuar primeramente en el punto de estación una determinación del acimut de una referencia por un método de primer orden, si es que no se conociese éste de antemano.

En un paso por el meridiano superior la declinación aparente de una estrella δ , su distancia cenital z y la latitud del lugar ϕ verifican ciertas relaciones, según que la culminación de la estrella sea al norte o al sur del cenit del lugar de observación (Véase la figura 1).

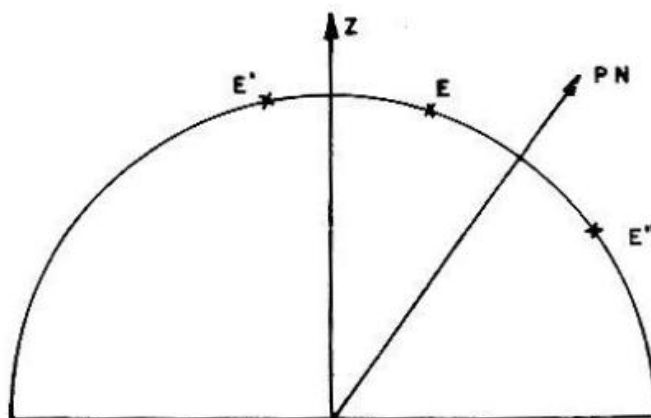


Fig 1

Se ha representado por Z el cenit del lugar y por P.N. el polo norte.

Primeramente supongamos que la estrella se encuentra en la posición E, es decir, al norte del cenit; según la figura

$$90 - \delta = (90 - \phi) - Z, \text{ de donde} \quad (1)$$

$$\phi = \delta - Z$$

Si la estrella se encuentra en la posición E', es decir al sur de cenit; según la figura

$$90 - \delta = (90 - \phi) + Z, \text{ de donde}$$

$$\phi = \delta + Z \quad (2)$$

En su paso por el meridiano inferior, posición E'', al norte del cenit, se verifica

$$90 - \delta = Z - (90 - \phi), \text{ de donde}$$

$$\phi = 180 - (\delta + Z) \quad (2'')$$

La declinación aparente δ , que se obtiene a partir de la declinación media de un catálogo de estrellas no va a introducir posibles errores en la latitud ϕ , al menos errores apreciables. Con la distancia cenital no va a suceder lo mismo, pues ésta se determina por observación directa, entrando en juego los errores propios de la observación.

Diferenciando las fórmulas (1) y (2) obtenemos, en la hipótesis de que la diferencial de la declinación sea cero, es decir $d\delta = 0$.

$$d\phi = \mp dZ \begin{array}{l} \text{Norte del cenit} \\ \text{Sur del cenit} \end{array} \quad (3)$$

Expresión que nos indica que los errores cometidos en la determinación de la distancia cenital afectan directamente y en la misma proporción a la latitud determinada.

2.- CORRECCIONES A APLICAR A LA DISTANCIA CENITAL OBSERVADA.

(A) Corrección por error axial a priori.- La primera corrección a efectuar es la debida al error axial del círculo de lectura cenital. Esta se determina mediante dos lecturas recíprocas al mismo punto, es decir, con vuelta de campana y siempre antes de comenzar la observación, de aquí que se la denomine a priori. Este error proviene de un mal ajuste del cero del círculo de lecturas cenital, de la posible no perpendicularidad del eje de giro y posiblemente de una defectuosa graduación de los círculos.

De no realizar dicha corrección se introduciría un error sistemático, difícilmente apreciable en las conclusiones finales que nos da el método.

Llamando a dicho error E_a , se tiene

$$Z_a = Z + E_a, \quad (4)$$

donde Z_a es la cenital corregida del error axial; generalmente se expresa E_a en segundos arco.

(B) Corrección por flexión.— Esta corrección proviene de la tendencia a curvarse del tubo del instrumento por el efecto de su propio peso. En los aparatos modernos (Teodolitos Astrogeodésicos) dicha corrección es pequeña, debido al pequeño tamaño del tubo, aunque no totalmente despreciable.

Viene dada esta corrección por la expresión:

$$f'' = f''_0 \text{ sen } Z_a, \quad (5)$$

donde f''_0 es la constante de flexión del instrumento, dada también en segundos de arco. La corrección será negativa pues la flexión tiende a aumentar la distancia cenital.

La cenital corregida por flexión será por tanto:

$$Z_f = Z_a - f'' \quad (6)$$

(C) Corrección por refracción.— La principal corrección que se va a efectuar sobre la cenital observada es la de refracción, para la que utilizaremos la expresión:

$$R = \alpha_0 (1 - \beta_0) \text{ tag } Z - \alpha_0 (\beta_0 - \alpha_0/2) \text{ tag}^3 Z \quad (7)$$

Siendo los coeficientes α_0 y β_0 los siguientes:

$$\alpha_0 = [\alpha_0] \frac{P}{760} \frac{273}{273 + T}$$

$$\beta_0 = [\beta_0] \frac{273 + T}{760 \cdot 273}$$

donde P es la presión normal obtenida por :

$$P = p(1 - 0.00264 \cos 2 \phi_0 - 0.000000196 H - 0.000163 T)$$

Siendo p la presión observada en milímetros de mercurio, ϕ_0 un valor aproximado de la latitud, que puede determinarse, o bien interpolando de un mapa o realizando una observación de segundo orden, H es la altitud del lugar de observación y T es la temperatura observada en grados centígrados.

Las constantes $[\alpha_0]_{760}$ y $[\beta_0]_{760}$ vienen dadas por

$$[\alpha_0]_{760} = 0.00029255 \quad [\beta_0]_{760} = 0.001254$$

R, así obtenido, queda expresado en radianes que habrá que transformar a la unidad en que se esté trabajando. Como la refracción disminuye la distancia cenital, la corrección será positiva y la distancia cenital corregida es:

$$Z_R = Z_f + R \quad (8)$$

(D) Corrección por nivel de eclímetro.— La corrección por nivel proviene de la no verticalidad del eje principal del instrumento, viene dada por

$$B = \frac{\mu}{4} (\Sigma L_w - \Sigma L_e) \quad (9)$$

Siendo μ la constante del nivel en segundos de arco y ΣL_w , ΣL_e son la suma de lecturas con el cero del nivel al oeste y al este respectivamente.

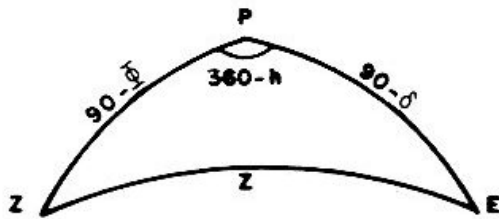
La cenital corregida por nivel es:

$$Z_N = Z_R + B \quad (10)$$

(E) Corrección por desviación acimutal.— En el apartado anterior se ha dicho que la observación debe realizarse en el meridiano del lugar, esto no va a ser siempre posible, por lo que será preciso introducir una corrección por este motivo, aunque con una buena determinación del acimut de una referencia se puede conseguir que esta corrección sea despreciable. Si esto no ocurre para poder aplicar dicha corrección, según veremos en la fórmula correctiva, se han de tomar tiempos en el momento de la observación.

Supongamos que la estrella es observada fuera del meridiano con una desviación h en el ángulo horario, respecto a 0° ó 180° que sería una observación perfecta superior o inferior.

Aplicando la primera fórmula de Bessel al triángulo PZE, se tiene



$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta \pm \cos \phi \cos \delta \cos h,$$

donde el signo + corresponde a un paso superior y el signo - a un paso inferior

Sustituyendo,

$$\cos h = 1 - \sin^2 h/2$$

se tiene,

$$\begin{aligned} \cos Z &= \sin \phi \sin \delta \pm \cos \phi \cos \delta (1 - 2 \sin^2 h/2) = \\ &= \sin \phi \sin \delta \pm \cos \phi \cos \delta \mp 2 \cos \phi \cos \delta \sin^2 h/2. \end{aligned}$$

Ahora bien, llamando Z' a la cenital que tendría la estrella si hubiese sido observada en el meridiano ($h = 0$), según el apartado primero.

$$Z' = \phi - \delta \quad (\text{Sur del cenit})$$

$$Z' = \delta - \phi \quad (\text{Norte del cenit})$$

Si la culminación es inferior

$$Z' = 180 - \phi - \delta$$

Luego la expresión anterior se transforma en

$$\cos Z = \cos Z' \mp 2 \cos \phi \cos \delta \sin^2 h/2$$

es decir,

$$\cos Z - \cos Z' \mp 2 \cos \phi \cos \delta \sin^2 h/2.$$

Finalmente reemplazando la diferencia de cosenos por productos de senos, se obtiene la expresión:

$$Z' = Z \mp \frac{2 \cos \phi \cos \delta \sin^2 h/2}{\sin 1/2 (Z + Z')}$$

En nuestras latitudes raramente se da una culminación inferior, por lo que:

$$Z' = Z - \frac{2 \cos \phi \cos \delta \sin^2 h/2}{\sin 1/2 (Z + Z')}$$

El ángulo h es pequeño, por lo tanto se puede efectuar la aproximación $\sin h/2 = h/2$, y la expresión de la cenital corregida es:

$$Z' = Z - \frac{\cos \phi_0 \cos \delta \cdot h^2}{2 \sin Z} \quad (11)$$

donde hemos aproximado $(Z + Z')/2 = Z$ y $\phi = \phi_0$

Veamos con un ejemplo la magnitud de tal corrección.

$$\text{Sean:} \quad \phi = 40^\circ \quad \delta = 65^\circ \quad Z = 25^\circ \quad h = 15''$$

Al efectuar los cálculos se tiene

$$Z' = Z - 0' 00041$$

Sean: $\phi = 40^\circ$ $\delta = 41^\circ$ $Z = 1^\circ$ $h = 15''$

Al efectuar los cálculos se tiene:

$$Z' = Z - 0''.018$$

Por lo tanto para cenitales pequeñas, una desviación acimutal de 15'' influye en una cifra no despreciable en la cenital observada. No obstante, si se ha realizado primeramente una buena orientación donde la desviación acimutal no pase de 2'' ó 3'', la reducción al meridiano de la cenital observada no se tiene que efectuar pues es totalmente despreciable. Por ejemplo sea

$$\phi_0 = 40^\circ \quad \delta = 41^\circ \quad Z = 1^\circ \quad h = 3''$$

Al efectuar los cálculos se encuentra

$$Z' = Z - 0''.00072$$

3.- PREPARACION DE LA LISTA PUNTERO.

La preparación de la lista puntero ha de seguir los siguientes requisitos:

- 1.- La magnitud de las estrellas debe ser superior a 6, a fin de que puedan ser observadas sin dificultad.
- 2.- Las cenitales de las estrellas no han de ser superiores a 30°, a fin de mantener pequeños los errores de refracción y flexión del instrumento.
- 3.- A fin de eliminar en lo posible las incertidumbres de la refracción y la flexión, se intentará observar igual número de estrellas que culminen al norte y al sur del cenit, y tal que consideradas positivas las cenitales de las que culminen al sur y negativas las otras, la suma algebraica de todas ellas sea próxima a cero.
- 4.- Se calcularán las cenitales aproximadas de las estrellas a su paso por el meridiano, así como su tiempo de paso, a fin de poder situar el instrumento con anterioridad al paso de la estrella y esta sea observada fácilmente. Los tiempos de comienzo y fin de la observación, impuestos a priori por el observador, permiten la selección de estrellas en ascensión recta.
- 5.- Para eliminar los posibles errores de lectura en el círculo vertical, la observación se irá desarrollando con círculo al este y círculo al oeste, de modo que el número de estrellas que se observen con círculo al este sea aproximadamente el de con círculo al oeste.

4.- METODO DE OBSERVACION.

Una vez preparada y revisada la lista puntero se operará de la siguiente manera al efectuarse la observación en el campo:

- 1.- El teodolito debe estar puesto en estación y situado de forma que su eje óptico describa el meridiano al girar en altura, o lo más cerca posible.
- 2.- Con anterioridad a la hora prefijada de comienzo de la observación, se efectuará la determinación del error axial a priori.
- 3.- Antes del paso de la primera estrella por el meridiano del lugar, se efectuará el movimiento en altura del anteojo hasta que la lectura de la cenital del círculo coincida con la cenital puntero.
- 4.- Se consultará en la lista puntero la hora de paso de la estrella.
- 5.- Divisada ésta en el campo del anteojo se efectuarán las lecturas de nivel.
- 6.- Cuando la estrella haga contacto con el hilo central se efectuará la lectura de la distancia cenital.
- 7.- Efectuar una segunda lectura de nivel de eclímetro.
- 8.- Se efectuarán las lecturas de presión y temperatura.
- 9.- Se operará de la misma forma con las demás estrellas de la serie.
- 10.- Al empezar una nueva serie se operará desde 1 en forma igual.

5.- ECUACIONES DE OBSERVACION.

Después de aplicar a la cenital observada las correcciones explicadas en el apartado segundo, tendremos una distancia cenital corregida dada por,

$$Z_c = Z_o + C \quad (12)$$

donde indicamos por C la suma de las correcciones.

Ahora bien, a la corrección por error axial a priori E_a dada por observación, se le suele ajustar un cierto residual que denominaremos a. A este residual le corresponderá una cierta corrección por refracción, que llamaremos ΔR .

Luego la ecuación (12) nos quedará en la forma

$$Z_c = Z_0 + C + a + \Delta R, \quad (13)$$

con suficiente aproximación

$$\Delta R = c \operatorname{tag} a = c a \quad (14)$$

pues a será una cantidad de primer orden, siendo c una constante que viene dada por el coeficiente de $\operatorname{tag} Z$ en la expresión de la corrección por refracción dada en el apartado segundo.

La ecuación (13) usando (14) se convierte en:

$$Z_c = Z_0 + C + a (1 + c) \quad (15)$$

La latitud ϕ según el apartado primero vendrá dada por:

$$\phi = \delta \mp [Z_0 + C + a (1 + c)] \quad (16)$$

donde el signo $-$ es para una culminación al norte del cenit y el signo $+$ para una culminación al sur del cenit.

Para establecer las ecuaciones de observación, se pueden seguir dos caminos. El primero y menos recomendable, pues según veremos los residuales son más grandes, es considerar la latitud inicial ϕ_0 y plantear las ecuaciones de observación en la forma:

$$\Delta \phi = \phi - \phi_0 = \delta \mp (Z_0 + C) - \phi_0 \mp a (1 + c) \quad (17)$$

Llamando:

$$t = \delta \mp (z_0 + C) - \phi_0 \quad (18)$$

se tiene

$$\Delta \phi = t \mp (1 + c) a$$

es decir,

$$\Delta \phi \pm (1 + c) a = t \quad (19)$$

Siendo las incógnitas el incremento de latitud $\Delta \phi$ y el residual del error axial a .

Puesto que c es una cantidad pequeña, la ecuación (19) se puede poner en la forma más sencilla,

$$\Delta \phi \pm a = t \quad (20)$$

donde el signo + corresponde a la culminación de la estrella al norte del cenit, y el signo - al sur del cenit, siguiendo el apartado primero.

El segundo camino y más recomendable es el siguiente: Consideremos una serie de observaciones y calculemos las latitudes relativas a cada observación.

$$\phi_i = \delta_i \mp (Z_{0i} + C_i) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

siendo m el número de estrellas de la serie.

La latitud media correspondiente a las ϕ_i será,

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^m \phi_i}{m} \quad (21)$$

Con esta latitud media se entra en las ecuaciones (16) al igual que se hacía con la inicial ϕ_0 .

$$\Delta\phi = \phi - \phi_m = \delta \mp (Z_0 + C) - \phi_m \mp a \quad (22)$$

Llamando,

$$t = \delta \mp (Z_0 + C) - \phi_m$$

resulta,

$$\Delta\phi \pm a = t \quad (23)$$

donde el signo + corresponde a la culminación al norte del cenit y el signo - al sur.

Las ecuaciones de observación serán por lo tanto,

$$\Delta\phi_j \pm a_j = t_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

para la serie j.

La determinación de $\Delta\phi_j$ y a_j se realizará por el método de los mínimos cuadrados según se explica en el siguiente apartado.

6.- RESOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DE OBSERVACIÓN.

Llamando t a la cantidad

$$t = \delta \mp (Z_0 + C) - \phi_m = \phi_i - \phi_m,$$

la observación de m estrellas en su paso por el meridiano dará lugar a m ecuaciones de observación de la forma,

$$\Delta \phi \doteq a - t_i = v_i ,$$

con dos incógnitas $\Delta \phi$ y a . Este sistema de ecuaciones de observación resultante de cada serie se resuelve por el método de los mínimos cuadrados y se obtienen los valores más probables de las incógnitas junto a las medidas de la precisión correspondientes.

Si hemos observado n series, para cada una de ellas habremos obtenido,

$\Delta \phi_j$ incremento de latitud, $j = 1, 2, \dots, n$ y tales que la latitud de la serie será,

$$\phi_j = \phi + \Delta \phi_j \quad (25)$$

a_j incremento del error axial a priori

σ_j error medio cuadrático de la serie

m_j error medio cuadrático de ϕ_j

m'_j error medio cuadrático de a_j

Para cada serie individual es preciso corregir ϕ_j por movimiento del polo como se indicará después.

Entonces los resultados finales de las n series en la hipótesis de distinta confianza se obtienen por

$$\phi = \frac{\sum p_j \phi_j}{\sum p_j} \quad (26)$$

$$a = \frac{\sum p'_j a_j}{\sum p'_j} \quad (27)$$

y los errores medios cuadráticos correspondientes por :

$$M_\phi = \sqrt{\frac{\sum (\phi - \phi_j)^2 p_j}{(n-1) \sum p_j}} \quad (28)$$

$$M_a = \sqrt{\frac{\sum (a - a_j)^2 p'_j}{(n-1) \sum p'_j}} \quad (29)$$

donde p_j y p'_j son los pesos correspondientes a ϕ_j y a_j respectivamente determinados como los inversos de los cuadrados de los errores medios cuadráticos m_j y m'_j .

Si se adopta la hipótesis de considerar las n series de igual confianza las fórmulas anteriores se simplifican en,

$$\phi = \frac{\sum \phi_j}{n} \quad (30)$$

$$a = \frac{\sum a_j}{n} \quad (31)$$

y de igual forma,

$$M_\phi = \sqrt{\frac{\sum (\phi - \phi_j)^2}{n(n-1)}} \quad (32)$$

$$M_a = \sqrt{\frac{\sum (a - a_j)^2}{n(n-1)}} \quad (33)$$

En el ejemplo dado al final se presentan los resultados en las dos hipótesis.

7.- CORRECCIONES A EFECTUAR A LA LATITUD CALCULADA.

(A) Corrección por movimiento del polo.- A fin de independizar la latitud obtenida del instante de la observación, es preciso efectuar la correspondiente reducción por movimiento del polo para referir la latitud al polo OCI (Origen convencional internacional). Esta corrección viene dada por:

$$\phi_c = \phi_o - x_p \cos \Lambda + y_p \operatorname{sen} \Lambda \quad (34)$$

donde ϕ_o es la latitud calculada mediante observación, Λ la longitud de la estación y x_p e y_p , las coordenadas del polo instantáneo interpoladas para el momento de la observación y que aparecen publicadas en la circular D del BIH (Bulletin International de l'Heure).

(B) Corrección por excentricidad de la estación.- Si la observación no se ha efectuado en la estación propiamente dicha, sino en una excéntrica, la latitud obtenida debe sufrir una corrección para tener la del punto de estación. - Esta corrección viene dada,

$$0 = 0_e + 0''.032376 d_e \cos A_e \quad (35)$$

siendo O_e la latitud excéntrica, d_e la distancia entre ambas estaciones y A_e el acimut de la estación principal desde la excéntrica. Si d_e se da en metros, la corrección vendrá expresada en segundos de arco.

(C) Corrección por curvatura de la plomada.— Para referir las coordenadas de un punto a la superficie del geode, es preciso efectuar una corrección por curvatura de la plomada desde el punto al geode. Esta corrección viene dada por,

$$\phi = \phi_t - 0''00017 H \text{ sen } 2 \phi_t \quad (36)$$

siendo O_t la latitud de la estación y H la altitud ortométrica del punto de estación que si está dada en metros, se obtiene la corrección en segundos de arco.

8.- PROGRAMAS DE CALCULO AUTOMATICO

a.- Programa PUNTEROS.— En (Parra R. Sevilla M.J. 1976) figura el listado del programa PUNTEROS que se utiliza para confeccionar las listas punteros para la observación siguiendo lo dicho en la sección (3). Este mismo programa sirve para efectuar la ordenación por pares de estrellas para la observación por el método Horrebow-Talcott para determinación de latitud. (Como puede verse en los resultados que se incluyen en el apéndice I).

b.- Programa STERNECK en fortran IV - G.— En el apéndice II figura el listado del programa STERNECK que es la programación del método descrito.

Las sentencias 2 y 3 dimensionan los datos y su significado es el siguiente:

ENO.- Nombre de la estación

ONO.- Nombre del observador u observadores

INOM.- Nombre del instrumento utilizado

DMS.- Duración en días de los meses del año, acumulándose

EALO.- E.M.C. de una serie en latitud

EACI.- E.M.C. de una serie en graduación cenital

AR.- Ascensión recta media

DE.- Declinación media

AMPA.- Movimiento propio en ascensión recta

AMPD.- Movimiento propio en declinación

ANAG.- Magnitud

PARA.- Paralaje

NEC.- Número de la estrella en el catálogo

FI.- Latitudes parciales de cada observación

FIM.- Latitud media de una serie

FIFP.- Latitud corregida por movimiento de polo

AIF.- Incremento de latitud
REA.- Incremento de error axial
PAL.- Peso de la serie en incremento de latitud
PAC.- Peso de la serie en incremento de error axial
PES.- Peso de la serie
A.- Matriz de los coeficientes de las ecuaciones de observación S, XX, EX, B, son matrices auxiliares del método de los mínimos cuadrados.
EW.- Matriz de índices que indican si el paso de la estrella es al este o al oeste, según sea 1 ó 2.
EMM.- E.M.C. de la latitud parcial FI
NNE.- Número de estrellas utilizadas en cada serie

Los datos de entrada se leen en las sentencias 6, 23, 43, 48, 103, que corresponden ordenadamente a los elementos que figuran en el estadiillo de observación del apéndice nº III cuya designación está allí escrita.

Como control se tiene: con una ficha en blanco se termina la lectura de datos por la sentencia 103, dos fichas en blanco finalizan los datos de la serie, tres en blanco finaliza el programa.

Una en blanco después de las estrellas 23, indica el fin de datos de estrellas. Si las estrellas de una de las series son las mismas que las de otra anterior, no es preciso volverlas a leer, siendo solamente necesario poner la tarjeta en blanco correspondiente. Las sentencias 25 a 35 almacenan las coordenadas medias de las estrellas en matrices.

Las sentencias 50 a 101 preparan las constantes astronómicas para la posterior reducción a aparentes de las coordenadas medias de las estrellas observadas.

Las sentencias 116 a 163 efectúan la reducción a aparentes (Sevilla M.J. - 1976).

La sentencia 169 corrige por error axial a priori según (4).

Las sentencias 171 y 172 corrigen por flexión según (5).

Las sentencias 173 a 176 calculan la corrección por refracción según (7).

La sentencia 177 halla la corrección de nivel según (9) y la 178 calcula la cenital introduciendo las correcciones de refracción y nivel.

La sentencia 181 calcula la latitud parcial FI.

La sentencia 190 calcula la media de las latitudes parciales de una serie y la 195 calcula el E.M.C. de las latitudes parciales.

Las sentencias 202 a 207 preparan la matriz de los coeficientes de las ecuaciones de observación según (24).

Las sentencias 210 a 221 aplican el método de mínimos cuadrados, haciendo uso en la sentencia 210 de la subrutina MINI22 de mínimos cuadrados para un sistema con dos incógnitas. Los valores más probables vienen dados por el vector XX , expresado en radianes; las sentencias 211 y 212 los pasan a segundos de arco. EX es el vector de desviaciones típicas y ETA es la desviación típica de la serie. Las sentencias 213 y 214 pasan a segundos de arco las componentes de EX y la 215 hace lo propio con ETA . Los pesos se calculan en 217, 218 y 219.

Las sentencias 222 y 223 corrigen por movimiento del polo según la expresión (34).

Las sentencias 224 a 237 escriben los resultados parciales de las observaciones en cada serie.

Las sentencias 238 a 286 calculan los valores más probables del conjunto de las series, tanto de la latitud como de la graduación cenital, así como los residuales y los errores mínimos cuadráticos en las hipótesis medias ponderadas y aritméticas.

Por último las sentencias 296 y 304 corrigen por excentricidad y curvatura de la plomada.

9.- EJEMPLO DE CALCULO

En el apéndice número IV figuran los resultados de dos series de observaciones efectuadas los días 23 y 26 de Julio de 1975 en el vértice Mola por personal del Instituto Geográfico y Catastral con teodolito Wild T-4.

Se han obtenido los siguientes resultados para la latitud:

Ponderados :	38° 39' 53" 144	E.M.C.	0'064
Medios:	38° 39' 53"176	E.M.C.	0'072

En el conjunto de las dos series se han observado 99 estrellas.

Como aclaración a los listados diremos: PRES es la presión observada, TEMP la temperatura observada, DZ COR es la cenital corregida y en la columna LATITUD aparecen las latitudes parciales FI. Las ecuaciones de observación aparecen numeradas y el término independiente viene dado en la última columna, es el residuo de la latitud parcial con respecto a la media.

REFERENCIAS

PARRA, R. y SEVILLA, M.J.: "Determinación de la latitud por el método Horrebow-Talcott". Sem. de Astr. y Geod. Pub. nº 98 - 1977.

SEVILLA, M. J.: "Nuevas constantes para la reducción automática de posiciones de estrellas". Sem. de Astr. y Geod. Pub. nº 90 - 1976.

RÉSUMÉ

L'auteur décrit la méthode de Sterneck pour la détermination des latitudes de premier ordre. Il analyse ensuite la préparation des listes d'observation des étoiles prévues en donnant le procédé opératif pour l'observation, ainsi que le processus de réduction des observations. On examine les erreurs et les corrections et on présente les programmes de calcul automatique pour ordinateur.

SUMMARY

The author describes the Sterneck method for determining latitudes of the first order. He analyses the preparation of observing lists, and gives the operational procedure for observation and the observation reduction process. Errors and corrections are examined, and the programs for automatic calculation by computer are presented.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor beschreibt die Methode Sterneck für die Bestimmung der Breitengrade erster Ordnung. Er analysiert dann die Verfassung von Beobachtungslisten vorgesehener Sterne und gibt das operative Verfahren für die Beobachtung bekannt und ebenso das Verfahren für die Reduzierung der Beobachtungen. Man prüft die Fehler und Berichtigungen und gibt die Programme der automatischen Kalkulationen für Computer bekannt.

A P E N D I C E S

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS
CATEDRA DE ASTRONOMÍA Y GEODESIA

APENDICE I

LISTA PUNTERO DE PASOS DE ESTRELLAS POR EL MERIDIANO. ORDENADA POR PARES PARA EL METODO DE HORREBOM-TALCOTT

ESTACION: VERTICE NOLA COORDENADAS PROVISIONALES: LATITUD 38 40 I LONGITUD 3.32.15 ALTITUD 0.0

LISTA PREPARADA PARA OBSERVAR CON EL INSTRUMENTO WILD T-4 EL DIA 24 7 25 DESDE LAS 19 0 A LAS 25 0

ELEMENTOS ASTRONOMICOS

TSG: 20. 4.23.432 FA: 204. SOL1: 120.30.11.43 SOL2: 121.27.24.18 NL1: 16.045 NL2: 16.030 NO1:-5.141 NO2:-5.100

COMPLUTENSE DE MADRID



P A S O D E E S T R E L L A S P O R E L M E R I D I A N O S U P E R I O R (MAYE)

DIA 24 7 25

COORDENADAS APARENTES

PAGINA 1

NUM	MAG	ASCEN RECTA	DECLINACION	TU DEL PASO	DISTANCIA CENTAL MERIDIANA	A	ANOTACIONES
565	5.2	15 14 21.779	67 26 40.218	19 0 41.979	28 46 35.2 E	231 13 20.8 W	-1.255 N
563	3.5	15 14 32.172	33 24 32.353	19 0 52.254	354 44 31.4 E	5 15 28.6 W	0.110 S
3400	3.7	15 17 19.924	20 39 51.008	19 3 39.617	341 55 50.0 E	18 0 10.0 W	0.330 S
3401	6.7	15 17 32.408	10 31 4.980	19 3 52.467	331 51 4.0 E	28 8 56.0 W	0.480 S
568	4.5	15 23 35.116	37 27 58.264	19 9 53.707	358 47 57.2 E	1 12 2.7 W	0.026 E
571	3.5	15 24 23.937	59 3 22.383	19 10 42.473	20 23 21.4 E	339 36 33.6 W	-0.678 N
573	5.5	15 24 40.608	15 30 56.102	19 13 59.099	336 50 55.1 E	23 9 4.9 W	0.408 S
572	3.7	15 26 50.442	29 11 33.772	19 13 6.578	350 31 32.8 E	9 28 27.2 W	0.189 S
573	5.2	15 30 4.190	40 55 11.839	19 16 21.707	2 15 10.6 E	257 44 49.2 W	-0.052 N
576	4.2	15 31 57.819	31 26 40.202	19 18 15.116	352 46 39.2 E	7 13 20.4	
578	2.3	15 33 40.404	26 47 58.438	19 19 57.420	346 7	11 52	
580	5.4	15 36 56.083	40 26 11.711	19 23 14.559			
1412	5.8	15 37 30.345	46 52 55.930	734			
533	3.7	15 45 4.930	15 30 9.142				
587	5.1	15 46 18.5					

```

C DETERMINACION DE LA LATITUD POR EL METODO DE STERNECK
C
0001      IMPLICIT REAL*8(I#-H,G-Z)
0002      DIMENSION ENO(2),ONO(2),INOM(2),DMS(12),EALC(10),EACI(10),JRI(80),
          *OE(80),AMPA(80),AMPD(80),PARA(30),NECL(80),FII(80),FIM(10),FIFP(10),
          *REA(10),PAL(10),PAC(10),PES(10),AIF(10),A(80,3),S(3,3),XX(2),
          *B(2,3),AMAG(80),EX(2),EW(80),EMM(2),VNE(80),IPE(2),IPC(2)
0003      DATA DMS/-1.,30.,58.,89.,119.,150.,180.,211.,242.,272.,303.,333./
0004      DATA IPE/'N','S',/IPE/'E','W'/
0005      DERA=1.7453292519D-2
0006      14 READ 100, ENO,LAG,LAM,LAS,GMSLO,HALT,DEX,LXG,LXP,XS
0007      100 FORMAT(2A8,3I2,F10.2,F7.2,F4.2,I3,I2,F5.2)
0008      IF(LAG.EQ.0) GO TO 15
0009      LOG=DABS(GMSLO)/10000
0010      AMLO=DABS(GMSLO)-DFLOAT(LOG*10000)
0011      LOM=AMLO/100
0012      SLO=AMLO-DFLOAT(LOM*100)
0013      AF=(DFLOAT(LAG)+DFLOAT(LAM)/60.+DFLOAT(LAS)/3600.)*CERA
0014      AL=(DFLOAT(LOG)+DFLOAT(LOM)/6.)*SLO/3600./15.
0015      IF(GMSLO.LT.0.) AL=-AL
0016      IF(GMSLO.LT.0.) LOG=-LOG
0017      CAF=DCOS(AF)
0018      PRINT 222
0019      222 FORMAT(1H1)
0020      PRINT 200
0021      200 FORMAT(1H0,35X,' DETERMINACION DE LA LATITUD POR EL METODO DE STER
          *NECK',/)

C
C LECTURA DE COORDENADAS MEDIAS DE ESTRELLAS OBSERVADAS
C
0022      IOC=0
0023      1 READ 101, NUMC,ARI,ARM,ARS,DEG,DEM,DES,AMUA,AMUE,AMG,PAR
0024      101 FORMAT(I4,2F3.0,F6.3,F4.0,F3.0,F5.2,F7.3,F7.2,F5.2,F7.2)
0025      IF(NUMC.EQ.0) GO TO 2
0026      IOC=IOC+1
0027      NEC(IOC)=NUMC
0028      AP(IOC)=ARI+ARM/60.+ARS/3600.
0029      DE(IOC)=DABS(DEG)+DABS(DEM)/60.+DABS(DES)/3600.
0030      IF(DEG.LT.0..OR.DEM.LT.0..OR.DES.LT.0.) DE(IOC)=-DE(IOC)
0031      AMPA(IOC)=AMUA
0032      AMPD(IOC)=AMUD
0033      AMAG(IOC)=AMG
0034      PARA(IOC)=PAR
0035      GO TO 1

C
C LECTURA DE DATOS DE CADA SERIE
C
0036      2 SAL=0.
0037      SAC=0.
0038      SPAL=0.
0039      SPAC=0.
0040      SAM=0.
0041      SAN=0.
0042      N=0
0043      10 READ 102, NS,IDA,MES,NA,TUH,TJM,TUS,CXP,CYP,CND,INCH,VAC,FL,CEA
0044      102 FORMAT(I4,2F3.0,F6.3,2F5.3,2A8,2A4,F5.3,F4.2,F5.2)
0045      IF(NS.EQ.0) GO TO 9
0046      SFIS=0.

```

```

0047      N=N+1
0048      READ 104, TSH,TSM,TSS,SG1,SM1,SS1,SG2,SM2,SS2,ANL1,ANL2,ANL3,ANLZ
0049      104 FORMAT(2F3.0,F6.3,2I4.0,F3.0,F5.2),2F7.3,2F6.3)
0050      AN=DFLOAT(NA)
0051      FA=DMS(MES)+IDA
0052      IF(DMOD(AN,4.00).EQ.0..AND.MES.GT.2) FA=FA+1.
0053      TS=TSH+TSM/60.+TSS/3600.
0054      ALO1=SG1+SM1/60.+SS1/3600.
0055      ALO2=SG2+SM2/60.+SS2/3600.
0056      EP=23.4425345975D00*DERA
0057      SE=DSIN(EP)
0058      CE=DCOS(EP)
0059      CAB=5.69327778D-3*DERA
0060      PRINT 201,NS,IDA,MES,NA,ONO
0061      201 FORMAT(1H0,15X,'SERIE NUMERO',I4,15X,'FECHA OBSERVACION',3I3,
          *12X,'OBSERVADORES',2X,2A8,/)
0062      PRINT 231, INCH,VAC,FL,CEA,CXP,CYP
0063      231 FORMAT(1H0,1X,'INSTRUMENTO:',1X,2A4,3X,'NIVEL:',1X,F3.3,3X,'FLEXIO
          N:',1X,F4.2,3X,'ERROR AXIAL:',1X,F5.2,3X,'CXP:',F6.3,3X,'CYP:',F6.
          *3,/)
0064      PRINT 206,TSH,TSM,TSS,FA,SG1,SM1,SS1,SG2,SM2,SS2,ANL1,ANL2,ANL3,AN
          *LZ
0065      206 FORMAT(1H0,1X,'ELEMENTOS ASTRONOMICOS',//,2X,'TSG=',1X,2F3.0,F6.3,
          *2X,'FA=',F5.0,2X,'SOL1=',F5.0,F3.0,F5.2,1X,'SOL2=',F5.0,F3.0,F5.2,
          *2X,'NL1=',F7.3,1X,'NL2=',F7.3,2X,'NOL1=',F6.3,1X,'NOL2=',F6.3,/)
0066      PRINT 202
0067      202 FORMAT(1H0,45X,'ESTRELLAS OBSERVADAS',/)
0068      PRINT 203
0069      203 FORMAT(1H0,1X,'NUM',2X,'NEC',2X,'OCU',1X,'CUL',5X,'ASCEN RECTA',5X
          *,'DECL INACION',4X,'DIST CENITAL',3X,'LECTURAS NIVEL',4X,'PRES',4X,
          *'TFMP',6X,'DZ COR',8X,'LATITUD',)

C
C CALCULO DE AÑOS TROPICOS Y PREPARACION DE CONSTANTES
C

```

```

0070 TU=TUM+TUM/60.+TUS/3600.
0071 FB=FD/24.
0072 FAT=FA+FD
0073 DZ=(6612.+AM)*365.25-13.
0074 FJ=FD/NT(DJ)
0075 IFIDMOD(AN,4.)DOJ.EQ.0.) FJ=FJ-1.
0076 FS=(FJ+0.5-2415020.)/36525.
0077 DE=365.24219879000-6.140-6*FS
0078 CAT=280.-(279.69667778000+36000.768925000*FS+3.0250-4*FS*FS-5.6932
*77780-3)
0079 CAT=(CAT+360.*AM)*(1.014601001000+3.05560-10*FS)
0080 FAT=1FAT-CAT)/DAT
0081 AT=AM*FAT
0082 TR=AT-75.
0083 PM1=1174.635691647000-(2.41615667890-3-8.3320-10*TR)*TF)*CERA
0084 SP=DSIN(PHI)
0085 CP=DCOS(PHI)
0086 AK=(1.3021304340-4-(9.2423610-10-1.38890-14*TF)*TR)*TR)*CERA
0087 SK=DSIN(AK)
0088 CX=DCOS(AK)
0089 ANUTL=(ANL1+(ANL2-ANL1)*FD)*DERA/3600.
0090 PREC=(1.3966745340-2+13.00804170-8+2.7780-14*TR)*TR)*TF)*CERA
0091 PN=PHI+ANUTL+PREC
0092 SPN=DSIN(PNI)

```

FORTRAN IV G LEVEL 21 MAIN DATE = 78177 17/17/13 PAGE 0003

```

0093 CPN=DCOS(PN)
0094 SOL=(AL01+(AL02-AL01)*FD)*DERA+ANUTL
0095 SS=DSIN(SOL)
0096 CS=DCOS(SOL)
0097 ANUTOB=(AN01+(AN02-AN01)*FD)*DERA/3600.
0098 OM=123.452294444000-(1.30125)-4+(1.638890-10-5.02780-13*AT)*AT)*
*AT)*DERA+ANUTOB
0099 SO=DSIN(OM)
0100 CO=DCOS(OM)
0101 TR=TR/100.
C
0102 K=0
0103 12 READ 105, NES, INS, IEM, DZG, DZM, DZS, TPR, PRS, RND1, RNI1, RNC2, RNI2
0104 105 FORMAT(I4, Z11, F4.0, F3.0, F4.1, F4.1, F5.1, 4(F3.1))
0105 IFINES.EQ.0) GO TO 25
0106 K=K+1
0107 DO 3 JJ=1, IDC
0108 IF(NEC(JJ).EQ.NES) GO TO 4
0109 3 CONTINUE
0110 4 DELTA=DE(JJ)*DERA
0111 ALFA=AR(JJ)*DERA*15.
0112 AMU=ARPA(JJ)
0113 AMUD=ANPD(JJ)
0114 AMA=AMAG(JJ)
0115 PAR=PARA(JJ)

```

C
C REDUCCION A APARENTES
C

```

0116 SA=DSIN(ALFA)
0117 CA=DCOS(ALFA)
0118 SD=DSIN(DELTA)
0119 C)=DCOS(DELTA)
0120 X=CA*CD
0121 Y=SA*CD
0122 Z=SD
0123 AMUA=AMUA*15.*DERA/3600.
0124 AMUD=AMUD*DERA/3600.
0125 UMU=-AMUA*SA*CD-AMUD*CA*SD
0126 VNU=AMUA*CA*CD-AMUD*SA*SD
0127 WNU=AMUD*CD
0128 U=X
0129 V=Y*CE+Z*SE
0130 W=-Y*SE+Z*CE
0131 XMU=UMU
0132 YMU=VNU*CE+WNU*SE
0133 ZMU=-VNU*SE+WNU*CE
0134 UU=XMU*XMU+YMU*YMU+ZMU*ZMU
0135 X=UU*XMU/TR-0.5*UU*UMU/TR*TR
0136 Y=V*YNU/TR-0.5*UU*VNU/TR*TR
0137 Z=W*ZNU/TR-0.5*UU*WNU/TR*TR
0138 U=X*(CPN*CP+SPN*SP*CK)+Y*(CPN*SP-SPN*CP*CK)-Z*SPN*SK
0139 V=X*(SPN*CP-CPN*SP*CK)+Y*(SPN*SP+CPN*CP*CK)+Z*CPN*SK
0140 W=X*SP*SK-Y*CP*SK+Z*CK
0141 PAR=(PAR/3600.)*CERA
0142 X=U+CAB*SS+PAR*CS
0143 Y=V-CAB*CS+PAR*SE
0144 Z=W
0145 R=DSORT(X*X+Y*Y+Z*Z)

```

FO RAN IV G LEVEL 21 MAIN DATE = 78177 17/17/13 PAGE 0004

```

0146 X=X/R
0147 Y=Y/R
0148 Z=Z/R
0149 U=X
0150 V=Y*CD-Z*SD
0151 W=Y*SD+Z*CD
0152 ALF=DATAN2(V,U)
0153 A)=DSORT(U*U+V*V)

```

```

0154      DELT=DATAN2IM,AMJ
0155      TSG=(TS+TU+TU/365.2422)*15.*DERA
0156      TSL=TSG+AL*DERA/15.
0157      DAL=3.2D-1*CAF*DCOS(TSL-ALF)/DCOS(DELT)
0158      DE=(3.2D-1*CAF*DCOS(TSL-ALF)*SIN(DELT)
0159      DCL=DELT*DEL*DERA/3600.
0160      ASR=ALF+DAL*DERA/3600.
0161      IF(ASR.LT.0.) ASR=ASR+6.283185303D00
0162      AS=ASR/(15.*DERA)
0163      DC=DCL/DERA
0164      DZ=DZG+DZM/60.*DZS/3600.
0165      CALL GRMS(AS,11,M1,S1)
0166      CALL GRMS(DC,12,M2,S2)
0167      CALL GRMS(DZ,13,M3,S3)
0168      EW(K)=IEW

C
C CORRCCIONES POR ERROR AXIAL A PRIORI Y POR FLEXION
C CORRECCION POR REFRACCION Y NIVEL

0169      DZ=DZ+CEA/3600.
0170      IF(DZ.GT.180.) DZ=360.-DZ
0171      F=FL*DSIN(DZ*DERA)/3600.
0172      DZ=DZ+F
0173      PN=PRS*(1.-2.64D-3*DC)S(2.*AF)-1.96D-7*HALT-1.63D-4*TPR)
0174      AA=2.9255D-4*PN*273./(1760.*(273.+TPR))
0175      BB=1.254D-3*(273.+TPR)/273.
0176      REF=AA*DTAN(CZ*DERA)*(1.-BB)-(BB-AA/2.)*CTAN(DZ*DERA)**2)
0177      BN=0.25*VNC*(RN11*RN12-RND1-RND2)/3600.
0178      DZ=DZ+REF/DERA+BN
0179      CALL GRMS(DZ,14,M4,S4)
0180      TF(INS,EO,2) DZ=-DZ
0181      F1(K)=DC+DZ
0182      CALL GRMS(F1(K),15,15,S5)
0183      SFIS=SFIS+DC+DZ
0184      PRINT 204, *,NES,IPJ(IEW),IPSI(INS),11,M1,S1,12,M2,S2,13,M3,S3,
*RN01,RN11,RND2,RN12,PRS,TPR,14,M4,S4,15,M5,S5
0185      204 FORMAT(1H0,13,16,3X,2A,1X,213,F7.3,3X,213,F7.3,4X,212,FS,1,4FS,1)
*2F7.1,2(2X,213,F7.3)
      IF(ND(K,2D).NE.C) GO TO 12
      PRINT 222
      PRINT 203
      GO TO 12
0190      25 F1M(N)=SFIS/DFLOAT(K)
0191      SPES=0.
0192      DN 6 J=1,K
0193      RES=FI(J)-F1M(N)
0194      6 SRES=SRES+RES*RES
0195      EMC=DSQRT(SRES/DFLOAT(K)-1.))*3600.
0196      EMM(N)=EMC/DSQRT(DFLOAT(K))
0197      CALL GRMS(F1M(N),16,M6,S6)

```

```

0198      PRINT 235, 16,M6,S6,EMM(N),EMC
0199      235 FORMAT(1H0,30X,*LATITUD DE LA SERIE:',213,F7.3,5X,'E.N.C.:',F7.3)
*10X,'E.N.C. SERIE:',F7.3/)

C
C FORMACION DEL SISTEMA DE ECUACIONES
C
0201      PRINT 219
0202      219 FORMAT(1H1,34X,* COEFICIENTES ECUACIONES DE OBSERVACION ',/)
DC 7 J=1,K
A(J,1)=1.
IF(EW(J).GT.1) A(J,2)=1.
IF(EW(J).EQ.1) A(J,2)=-1.
A(J,3)=(F1M(N)-FI(J))*DERA
A3S=A(J,3)*3600./DERA
7 PRINT 218, J,A(J,1),A(J,2),A(J,3)
218 FORMAT(36X,12,3F12.7)

C
C RESOLUCION DEL SISTEMA POR MINIMOS CUADRADOS
C
0210      CALL MINIZ2(K,A,S,R,XX,EX,ETA)
0211      A(F(N))=XX(1)*3600./DERA
0212      RFA(N)=XX(2)*3600./DERA
0213      FALD(N)=EX(1)*3600./DERA
0214      FACI(N)=EX(2)*3600./DERA
0215      EMF=ETA*3600./DERA
0216      FIF=F1M(N)*XX(1)/DERA
0217      PAL(N)=1./EALD(N)*FALD(N)
0218      PAC(N)=1./EACI(N)*FACI(N)
0219      PES(N)=1./EMF*EMF
0220      SPAL=SPAL+PAL(N)
0221      SPAC=SPAC+PAC(N)

C
C CORRECCION POR MOVIMIENTO DEL POL
C
0222      CAPP=CXP*DSIN(AL*DERA)-CYP*DCS(AL*DERA)
0223      C1FP(N)=FIF+CAPP/3600.
0224      CALL GRMS(F1F,11,M1,S1)
0225      CALL GRMS(F1FP(N),12,M2,S2)
0226      SAL=SAL+F1FP(N)*FAL(N)
0227      SAC=SAC+F1FP(N)*PAC(N)
0228      SAM=SAM+F1FP(N)
0229      SAN=SAN+HEA(N)
0230      NAF(N)=K
0231      CP=CEA+HEA(N)

```

```

0232 PRINT 208, AIF(N), EALD(N), REA(N), EACI(N), I1, M1, S1, EME, CEA, I2, M2, S2
0233 208 FORMAT(1H0, 5X, 'INCREMENTO LATITUD: ', F14.3, 3X, 'E.M.C.: ', F7.3, 5X,
'CORR.GRAD.CENITAL: ', F8.3, 3X, 'E.M.C.: ', F7.3, //, 6X, 'LATITUD DE LA S
REFIF: ', 2I3, F7.3, 3X, 'E.M.C.: ', F7.3, 5X, 'GRADUACION CENITAL: ', F7.3, //
= 6X, 'LATITUD O.C.I. = ', 2I3, F7.3, //)
0234 PRINT 222
0235 PRINT 200
0236 GO TO 10
0237 9 CONTINUE
0238 AFIN=5*AL/SPAL
0239 REFIN=5*AC/SPAC
0240 AFIM=5*AM/DFLOAT(N)
0241 REFIN=5*AN/DFLOAT(N)
0242 PRINT 305

```

FORTRAN IV G LEVEL 21 MAIN DATE = 78177 17/17/13 PAGE 0006

```

0243 305 FORMAT(1H0, 'RESUMEN RESULTADOS MEDIA PONDERADA', //)
0244 PRINT 205
0245 205 FORMAT(1H0, 10X, 'SERIE', 2X, 'INCR.LAT', 3X, 'RESIDUO', 2X, 'EMC', 6X,
*'GRA.CENITAL', 2X, 'RESIDUO', 2X, 'EMC', 9X, 'LATITUD', 5X, 'FESC SERIE', 2
*X, 'ESTRELLAS', //)
0246 DALS=0.
0247 DACS=0.
0248 NTE=0.
0249 DO 11 K=1, N
0250 NTE=NTE+NNE(K)
0251 DAL=(AFIN-FIF(K))*3600.
0252 DAC=REFIN-REA(K)
0253 CALL GRMS(FIF(K), I1, M1, S1)
0254 PRINT 225, K, AIF(K), DAL, EAL(K), REA(K), DAC, EACI(K), I1, M1, S1, PES(K)
*, NNE(K)
0255 225 FORMAT(10X, I4, F11.3, F10.3, F7.3, F14.3, F10.3, F7.3, 6X, 2I3, F1.2, F9.2, 8
*X, I2)
0256 DALS=DALS+PAL(K)*DAL+DAL
0257 11 DACS=DACS+PAC(K)*DAC+DAC
0258 EMAL=DSQRT(DALS/(DFLOAT(N)-1.))
0259 EMAC=DSQRT(DACS/(DFLOAT(N)-1.))
0260 PRINT 209, EMAL, EMAC, NTE
0261 209 FORMAT(1H0, 10X, 'E.M.C. INCREMENTO LATITUD SERIES: ', F6.2, 10X,
*'E.M.C. GRADUACION CENITAL SERIES: ', F6.3, 10X, 'ESTRELLAS: ', I4, //)
0262 PRINT 306
0263 306 FORMAT(1H0, 'RESUMEN RESULTADOS MEDIA ARITMETICA', //)
0264 PRINT 205
0265 DAMS=0.
0266 DAM=0.
0267 DO 31 K=1, N
0268 DAM=(AFIM-FIF(K))*3600.
0269 DAN=REFIM-REA(K)
0270 CALL GRMS(FIF(K), I1, M1, S1)
0271 PRINT 225, K, AIF(K), DAM, EALO(K), REA(K), DAN, EACI(K), I1, M1, S1, PES(K)
*, NNE(K)
0272 DAMS=DAMS+DAM*DAM
0273 31 DAMS=DAMS+DAM*DAM
0274 EMAN=DSQRT(DAMS/(DFLOAT(N)-1.))
0275 EMAN=DSQRT(DANS/(DFLOAT(N)-1.))
0276 PRINT 209, EMAN, EMAN, NTE
0277 PRINT 222
0278 PRINT 207
0279 207 FORMAT(1H0, 'UNIVERSIDAD COMPLUTENSE - MADRID', /, 1X, 'FACULTAD DE CI
*ENCIAS MATEMATICAS', /, 1X, 'CATEDRA DE ASTRONOMIA Y GEODESIA', //)
0280 PRINT 200
0281 EMCAL=EMAL/DSQRT(SPAL)
0282 EMCAC=EMAC/DSQRT(SPAC)
0283 REFIN=REFIN+CEA
0284 EMCAL=EMAN/DSQRT(DFLOAT(N))
0285 EMCAC=EMAN/DSQRT(DFLOAT(N))
0286 REFIN=REFIN+CEA
0287 CALL GRMS(AFIN, I1, M1, S1)
0288 PRINT 210, ENO, LAG, LAM, LAS, LAG, LOM, SLO, HALT
0289 210 FORMAT(1H0, 10X, 'ESTACION: ', 2X, 2A8, 5X, 'LAT. APROX.: ', 3I3, 2X, 'LON.
* SPROX.: ', 2I3, F6.2, 2X, 'ALT.: ', F7.2, //)
0290 PRINT 307
0291 307 FORMAT(1H0, 'RESULTADOS PONDERADOS', //)
0292 PRINT 211, I1, M1, S1, EMCAL, REFIN, EMCAC

```

FORTRAN IV G LEVEL 21 MAIN DATE = 78177 17/17/13 PAGE 0007

```

0293 211 FORMAT(1H0, 10X, 'LATITUD CALCULADA = ', 2I3, F7.3, 6X, 'E.P.C.: ', F7.3, 9
*10X, 'GRADUACION CENITAL: ', F8.3, 6X, 'E.M.C.: ', F7.3, //)
C
C CORRECCION POR EXCENTRICA Y CURVATURA DE LA PLCPADA
C
0294 EXX=(DFLOAT(LXG)+DFLOAT(LXM)/50.+XS/3600.)*CERA
0295 CEX=0.032376*DEX*DCOS(EXX)
0296 AFEX=AFIN+CEX/3600.
0297 CALL GRMS(AFEX, I2, M2, S2)
0298 PRINT 214, CEX
0299 214 FORMAT(1H0, 10X, 'COR. EXCENTRICA = ', 6X, F7.2)
0300 PRINT 215, I2, M2, S2
0301 215 FORMAT(1H0, 10X, 'LATITUD = ', 2I3, F7.3)
0302 FIRR=2.*AFEX*DERA
0303 CCP=0.00017000*HALT*OSIN(FIRR)
0304 FICC=AFEX+CCP/3600.
0305 CALL GRMS(FICC, I3, M3, S3)

```

CENTRO DE CALCULO DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

```

0106      PRINT 216, CCP
0307      216 FORMAT(1H0,10X,'COR. CURVATURA'  =',6X,F7.3)
0308      PRINT 217, 13,M3,S3
0309      217 FORMAT(1H0,10X,'LATITUD DEFINITIVA =',213,F7.2)
0310      CALL GRMS(AFIX,11,M1,S1)
0311      PRINT 308
0312      308 FORMAT(1H0,'RESULTADOS MEDIDAS',//)
0313      PRINT 211, 11,M1,S1,EMCAM,REFIN,EMCAN
0314      AFEX=AFIX+CEX/3600
0315      CALL GRMS(AFEX,12,M2,S2)
0316      PRINT 214, CEX
0317      PRINT 215, 12,M2,S2
0318      FICC=AFEX+CCP/3600
0319      CALL GRMS(FICC,13,M3,S3)
0320      PRINT 216, CCP
0321      PRINT 217, 13,M3,S3
0322      GO TO 14
0323      15 STOP
0324      END

```

FORTRAN IV G LEVEL 71 GRMS DATE = 78177 17/17/13 PAGE 0001

```

0001      SUBROUTINE GRMS(X,IG,M1,SE)
0002      REAL*8 X,AM,SE,Y
0003      K=0
0004      IF(X.LT.0.) K=1
0005      Y=DABS(X)
0006      IG=Y
0007      AM=(Y-DFLOAT(IG))*60.
0008      M1=AM
0009      SF=(AM-DFLOAT(M1))*60.
0010      IF(IG.EQ.1).AND.(IG.EQ.01.AND.(M1.EQ.0)) SE=-SE
0011      IF(IG.EQ.1).AND.(IG.EQ.01) M1=-M1
0012      IF(IG.EQ.1) IG=-IG
0013      RETURN
0014      END

```

FORTRAN IV G LEVEL 21 MINIZZ DATE = 78177 17/17/13 PAGE 0001

```

0001      SUBROUTINE MINIZZ (NN,A,S,B,L,EX,ETA)
0002      DOUBLE PRECISION S(3,3),B(2,3),X(2),EX(2),ETA
0003      REAL*8 A(80,3)
0004      DO 1 I=1,3
0005      DO 1 J=1,3
0006      S(I,J)=0.
0007      DO 1 L=1,NN
0008      1 S(I,J)=S(I,J)+A(L,I)*A(L,J)
0009      DO 2 I=1,2
0010      DO 2 J=2,3
0011      K=I+1
0012      B(I,1)=-S(I,3)
0013      B(I,J)=0.
0014      2 B(I,K)=1.
0015      S(1,1)=DSORT(S(1,1))
0016      S(1,2)=-S(1,2)/S(1,1)
0017      S(2,2)=DSORT(S(2,2)-S(1,2)*S(1,2))
0018      B(1,1)=B(1,1)/S(1,1)
0019      B(1,2)=-B(1,2)/S(1,1)
0020      DO 3 J=1,3
0021      B(2,J)=(B(2,J)-S(1,2)*B(1,J))/(S(2,2)*S(2,2))
0022      3 B(1,J)=(B(1,J)-S(1,2)*B(2,J))/S(1,1)
0023      DO 4 I=1,2
0024      X(I)=B(I,1)
0025      Z=NN-2
0026      ETA=S(3,3)
0027      DO 5 J=1,2
0028      5 ETA=ETA+S(J,3)*K(I)
0029      ETA=DSORT(ETA/2)
0030      DO 6 I=1,2
0031      J=I+1
0032      6 EX(I)=DSORT(B(1,J))*ETA
0033      RETURN
0034      END

```

ESTACION						EXCENTRICA				
DESIGNACION		LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	DIST.	ANG. ACIM.				
COORDENADAS MEDIAS DE ESTRELLAS 1975.0										
NUM.	ASCEN. RECTA	DECLINACION	M.R.A.S.R.	M.P.DIC.	MAGR.	PARALAJE				
FECHA		TIEMPO MEDIO	COORD. POLO		OBSERVADORES	INSTRUMENTO	DIV. NIVEL	FLEXION	ERROR AXIAL	
DIA	MES	AÑO	OBSERVACION	X						Y
CONSTANTES ASTRONOMICAS										
HORA SIDERECA O ^h U.T.		LONG.SOL.DIA OBS.	LONG.SOL.DIA SIG.	MUT.LON.OBS.	MUT.COL.SGT	MUT.COL.OBS	MUT.COL.SGT			
DATOS DE CAMPO										
NUM.	H	S	W	CENITAL	TEMP.	PRECISION	NIVEL	MMO.	NIVEL	UNC.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE - MADRID
 FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS
 CATEDRA DE ASTRONOMIA Y GEODESIA

APENDICE IV

DETERMINACION DE LA LATITUD POR EL METODO DE STERNECK

ESTACION: VERTICEMOLA LAT. APROX.: 38 40 1 LCN. APRX.: 1 32 12.00 ALT.: 0.0

RESULTADOS PONDERADOS

LATITUD CALCULADA : 38 39 53.144 E.M.C.: 0.064 GRADUACION CENITALS 0.965 E.M.C.: 0.876
 COR. EXCENTRICA : 0.0
 LATITUD : 38 39 53.144
 COR. CURVATURA : 0.0
 LATITUD DEFINITIVA : 38 39 53.144

RESULTADOS MEDIOS

LATITUD CALCULADA : 38 39 53.176 E.M.C.: 0.072 GRADUACION CENITAL: 0.518 E.M.C.: 0.586
 COR. EXCENTRICA : 0.0
 LATITUD : 38 39 53.176
 COR. CURVATURA : 0.0
 LATITUD DEFINITIVA : 38 39 53.176

DETERMINACION DE LA LATITUD POR EL METODO DE STERNECK

RESUMEN RESULTADOS MEDIA PONDERADA

SERIE	INCR.LAT	RESIDUO	EMC	GRA.CENTRAL	RESIDUO	EMC	LATITUD	PESO SERIE	ESTRELLAS	
1	0.014	-0.104	0.202	-0.465	1.430	0.202	38 39 53.248	0.74	33	
2	0.137	0.039	0.324	1.502	-0.937	0.124	38 39 53.284	0.99	46	
E.M.C. INCREMENTO LATITUD SERIES: 0.604				E.M.C. GRADUACION CENTRAL SERIES: 0.204				ESTRELLAS: 99		

RESUMEN RESULTADOS MEDIA ARITMETICA

SERIE	INCR.LAT	RESIDUO	EMC	GRA.CENTRAL	RESIDUO	EMC	LATITUD	PESO SERIE	ESTRELLAS	
1	0.014	-0.072	0.202	-0.465	0.984	0.202	38 39 53.248	0.74	33	
2	0.137	0.072	0.324	1.502	-0.984	0.124	38 39 53.104	0.99	46	
E.M.C. INCREMENTO LATITUD SERIES: 0.101				E.M.C. GRADUACION CENTRAL SERIES: 1.391				ESTRELLAS: 99		

A UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

PUBLICACIONES DEL SEMINARIO DE ASTRONOMIA Y GEODESIA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE - MADRID

- 1.—Efe­mé­ri­des de 63 Asteroides para la oposición de 1950 (1949).
- 2.—E. PAJARES: Sobre el cálculo gráfico de valores medios (1949).
- 3.—J. PENSADO: Órbita del sistema visual σ^2 U Maj (1950).
- 4.—Efe­mé­ri­des de 79 Asteroides para la oposición de 1951 (1950).
- 5.—J. M. TORROJA: Corrección de la órbita del Asteroide 1395 «Aribeda» (1950).
- 6.—R. CARRASCO y J. M. TORROJA: Rectificación de la órbita del Asteroide 1371 «Resia» (1971).
- 7.—J. M. TORROJA y R. CARRASCO: Rectificación de la órbita del Asteroide 1560 (1942 XB) y efe­mé­ri­des para la oposición de 1951 (1951).
- 8.—M. L. SIEGRIST: Órbita provisional del sistema visual Σ 728-32 Orionis (1951).
- 9.—Efe­mé­ri­des de 79 Asteroides para la oposición de 1952 (1951).
- 10.—J. PENSADO: Órbita provisional de Σ 1883 (1951).
- 11.—M. L. SIEGRIST: Órbita provisional del sistema visual Σ 2052 (1952).
- 12.—Efe­mé­ri­des de 88 Asteroides para la oposición de 1953 (1952).
- 13.—J. PENSADO: Órbita de ADS 9380 = Σ 1879 (1952).
- 14.—F. ALCÁZAR: Aplicaciones del Radar a la Geodesia (1952).
- 15.—J. PENSADO: Órbita de ADS 11897 = Σ 2438 (1952).
- 16.—B. RODRÍGUEZ-SALINAS: Sobre varias formas de proceder en la determinación de períodos de las marcas y predicción de las mismas en un cierto lugar (1952).
- 17.—R. CARRASCO y M. PASCUAL: Rectificación de la órbita del Asteroide 1528 «Conrada» (1953).
- 18.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Órbita de ADS 1709 = Σ 228 (1953).
- 19.—J. BALTÁ: Recientes progresos en Radioastronomía. Radiación solar hiperfrecuente (1953).
- 20.—J. M. TORROJA y A. VÉLEZ: Corrección de la órbita del Asteroide 1452 (1938 DZ₁) (1953).
- 21.—J. M. TORROJA: Cálculo con Cracovianos (1953).
- 22.—S. AREND: Los polinomios ortogonales y su aplicación en la representación matemática de fenómenos experimentales (1953).
- 23.—J. M. TORROJA y V. BONGERA: Determinación de los instantes de los contactos en el eclipse total de Sol de 25 de febrero de 1952 en Cogo (Guinea Española) (1954).
- 24.—J. PENSADO: Órbita de la estrella doble Σ 2 (1954).
- 25.—J. M. TORROJA: Nueva órbita del Asteroide 1420 «Radcliffe» (1954).
- 26.—J. M. TORROJA: Nueva órbita del Asteroide 1557 (1942 AD) (1954).
- 27.—R. CARRASCO y M. L. SIEGRIST: Rectificación de la órbita del Asteroide 1290 «Albertine» (1954).
- 28.—J. PENSADO: Distribución de los períodos y excentricidades y relación período-excentricidad en las binarias visuales (1955).
- 29.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Nueva órbita del Asteroide 1372 «Haremari» (1955).
- 30.—M. DE PASCUAL: Rectificación de la órbita del Asteroide 1547 (1929 CZ) (1955).
- 31.—J. M. TORROJA: Órbita del Asteroide 1554 «Yugoslavia» (1955).
- 32.—J. PENSADO: Nueva órbita del Asteroide 1401 «Lavonne» (1956).
- 33.—J. M. TORROJA: Nuevos métodos astronómicos en el estudio de la figura de la Tierra (1956).
- 34.—D. CALVO: Rectificación de la órbita del Asteroide 1466 «Mündleria» (1956).
- 35.—M. L. SIEGRIST: Rectificación de la órbita del Asteroide 1238 «Predappia» (1956).
- 36.—J. PENSADO: Distribución de las inclinaciones y de los polos de las órbitas de las estrellas dobles visuales (1956).
- 37.—J. M. TORROJA y V. BONGERA: Resultados de la observación del eclipse total de Sol de 30 de junio de 1954 en Sydkoster (Suecia) (1957).
- 38.—ST. WIERZBINSKI: Solution des équations normales par l'algorithme des cracoviens (1958).
- 39.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Rectificación de la órbita del Asteroide 1192 «Prisma» (1958).
- 40.—M. LÓPEZ ARROYO: Sobre la distribución en longitud heliográfica de las manchas solares (1958).
- 41.—F. MÚGICA: Sobre la ecuación de Laplace (1958).

(Continúa en la tercera de cubierta)

- 42.—F. MARTÍN ASÍN: Un estudio estadístico sobre las coordenadas de los vértices de la triangulación de primer orden española (1958).
- 43.—ST. WIERZBINSKI: Orbite améliorée de η 4530 = γ Cen = Cpd —48°, 4965 (1958).
- 44.—D. CALVO BARRENA: Rectificación de la órbita del Asteroide 1164 «Kobolda» (1958).
- 45.—M. LÓPEZ ARROYO: El ciclo largo de la actividad solar (1959).
- 46.—F. MÚGICA: Un nuevo método para la determinación de la latitud (1959).
- 47.—J. M. TORROJA: La observación del eclipse de 2 de octubre de 1959 desde El Aaiun (Sahara) (1960).
- 48.—J. M. TORROJA, P. JIMÉNEZ-LANDI y M. SOLÍS: Estudio de la polarización de la luz de la corona solar durante el eclipse total de Sol del día 2 de octubre de 1959 (1960).
- 49.—E. PAJARES: Sobre el mecanismo diferencial de un celóstato (1960).
- 50.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Sobre la diferencia entre los radios vectores del elipsoide internacional y el esferoide de nivel (1960).
- 51.—J. M. TORROJA: Resultado de las observaciones del paso de Mercurio por delante del disco solar del 7 de noviembre de 1960 efectuadas en los observatorios españoles (1961).
- 52.—F. MÚGICA: Determinación de la latitud por el método de los verticales simétricos (1961).
- 53.—M. LÓPEZ ARROYO: La evolución del área de las manchas solares (1962).
- 54.—F. MÚGICA: Determinación simultánea e independiente de la latitud y longitud mediante verticales simétricos (1962).
- 55.—P. DÍEZ-PICAZO: Elementos de la órbita de la variable eclipsante V 499 Scorpionis (1964).
- 56.—J. M. TORROJA: Los Observatorios Astronómicos en la era espacial (1965).
- 57.—F. MARTÍN ASÍN: Nueva aportación al estudio de la red geodésica de primer orden española y su comparación con la red compensada del sistema europeo (1966).
- 58.—F. SÁNCHEZ MARTÍNEZ: La Luz Zodiacal. Luz del espacio interplanetario (1966).
- 59.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Variaciones de las coordenadas geodésicas de los vértices de una red, por cambio de elipsoide de referencia (1966).
- 60.—F. SÁNCHEZ MARTÍNEZ y R. DUMONT: Fotometría absoluta de la raya verde y del continuo atmosférico en el Observatorio Astronómico del Teide (Tenerife), de enero de 1964 a julio de 1965 (1967).
- 61.—M. REGO: Estudio del espectro de la estrella 31 Aql. en la región $\lambda\lambda$ 4000 6600 Å (1969).
- 62.—C. MACHÍN: Mareas terrestres (1969).
- 63.—J. M. TORROJA: La estación para la observación de satélites geodésicos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid (1969).
- 64.—M. J. SEVILLA: Reducción automática de posiciones de estrellas (1970).
- 65.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid en 1969 (1970).
- 66.—M. J. SEVILLA: Los cálculos de estación en triangulación espacial (1970).
- 67.—MANUEL E. REGO: Determinación de las abundancias de los elementos en la atmósfera de la estrella de alta velocidad 31 Aql. (1970).
- 68.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Análisis cualitativo del espectro de la estrella peculiar HD 18474 (1971).
- 69.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1970 (1971).
- 70.—R. VIEIRA y R. ORTIZ: Descripción de un aparato para medida de coordenadas (1971).
- 71.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1971 (1972).
- 72.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Observación y estudio teórico del espectro de la estrella peculiar HD 18474 (1972).
- 73.—M. J. SEVILLA: Cálculo de las constantes de distorsión y parámetros del disco obturador para cámaras balísticas (1973).
- 74.—R. PARRA y M. J. SEVILLA: Cálculo de efemérides y previsiones de pasos de satélites geodésicos (1973).
- 75.—M. REGO y M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Resultado de las observaciones de α Peg efectuadas desde el satélite europeo TD1 (1973).
- 76.—E. SIMONNEAU: Problemas en la determinación de abundancias de elementos en las estrellas en condiciones de equilibrio termodinámico local y alejadas del equilibrio termodinámico local (1974).
- 77.—J. ARANDA: Construcción de modelos de estructura interna para estrellas en la secuencia principal inicial (1974).

- 78.—R. ORTIZ, M. SEVILLA y R. VIEIRA: Estudio de la calibración, técnica de medida y automatización de datos en un comparador para medidas de placas estelares (1974).
- 79.—M. J. SEVILLA: Método autocorrector para el cálculo de direcciones de satélites geodésicos y análisis de los errores en la restitución de un arco de órbita (1974).
- 80.—M. A. ACOSTA, R. ORTIZ y R. VIEIRA: Diseño y construcción de un fotómetro fotoeléctrico para la observación de ocultaciones de estrellas por la Luna (1974).
- 81.—T. J. VIVES, C. MORALES, J. GARCÍA-PELAYO y J. BARBERO: Fotometría fotográfica UBV del cúmulo galáctico King 19 (1974).
- 82.—R. ORTIZ y R. VIEIRA: Control automático en posición y tiempo de los sistemas de obturación de las cámaras de observación de satélites geodésicos (1974).
- 83.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1972 y 1973 (1974).
- 84.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA y M. REGO: α CrB en el ultravioleta lejano (1975).
- 85.—J. M. TORROJA, R. VIEIRA, R. ORTIZ y M. J. SEVILLA: Estudio de mareas terrestres en España (1975).
- 86.—M. J. SEVILLA y R. PARRA: Levantamiento gravimétrico de Lanzarote (1975).
- 87.—P. KUNDANMAL SUKHWANI: Modelos teóricos de curvas de luz. Su aplicación al sistema β Lyrae (1975).
- 88.—M. J. SEVILLA: Coordenadas astronómicas y geodésicas. Desviación relativa de la vertical (1975).
- 89.—C. TEJEDOR: Fotometría fotoeléctrica R. G. U. del cúmulo galáctico IC 2581 (1976).
- 90.—M. J. SEVILLA: Nuevos coeficientes para la reducción automática de posiciones de estrellas (1976).
- 91.—M. REGO: Técnicas observacionales en espectroscopía astrofísica (1976).
- 92.—M. J. SEVILLA: Determinación de la latitud por distancias cenitales de la polar, método de Littrow (1976).
- 93.—T. J. VIVES: Determinación fotométrica del tipo espectral de la componente desconocida de una estrella binaria eclipsante (1976).
- 94.—M. REGO y M. J. FERNÁNDEZ FIGUEROA: Contraste y determinación por métodos astrofísicos de fuerzas de oscilador (1977).
- 95.—M. J. SEVILLA y R. CHUECA: Determinación de acimutes por observación de la Polar. Método micrométrico (1977).
- 96.—JOSÉ M. GARCÍA-PELAYO: Fotometría R G U en un campo del anticentro galáctico, cerca del NGC 581 (1977).
- 97.—JOSÉ M. GARCÍA-PELAYO: Datos fotométricos de 2.445 estrellas estudiadas en la región de Casiopea, entre los cúmulos abiertos Trumpler 1 y NGC 581 (1977).
- 98.—PREM K. SUKHWANI y RICARDO VIEIRA: Spectral Analysis of Earth Tides (1977).
- 99.—JOSÉ M. TORROJA y RICARDO VIEIRA: Earth Tides in Spain. Preliminary results (1977).
- 100.—PREM K. SUKHWANI y RICARDO VIEIRA: Three different methods for taking in account the gaps in spectral analysis of Earth Tides records (1978).
- 101.—R. VIEIRA: Mareas terrestres (1978).
- 102.—M. J. SEVILLA y A. NÚÑEZ: Determinación de la longitud por el método de Mayer. Programas de Cálculo Automático (1979).