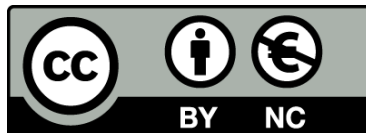




UNIVERSITAT DE
BARCELONA

**Fluctuacions de la rotació de la Terra
del 1800 al 1955.5: correccions al sistema FK5,
elements orbitals de la lluna i datum de Watts**

Carme Jordi i Nebot



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial 4.0. Espanya de Creative Commons**.

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial 4.0. España de Creative Commons**.

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0. Spain License**.

R. 28774 X

1985

Càtedra d'Astronomia
Departament de Física de la
Terra i del Cosmos
Facultat de Física
Universitat de Barcelona

FLUCTUACIONS DE LA ROTACIÓ DE LA TERRA DEL 1800 AL 1955.5. CORRECCIONS
AL SISTEMA FK5, ELEMENTS ORBITALS DE LA LLUNA I DATUM DE WATTS.

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0700448353

Memòria presentada per
Carme Jordi i Nebot
per optar al Grau de
Doctor en Ciències
Físiques

A en Carles

I N D E X

0. INTRODUCCIÓ	1
1. REDUCCIÓ.	4
1.1 Efemèrides DE200/LE200	4
1.2 Escales de temps	6
1.3 Posició aparent d'una estrella	8
1.4 Posició aparent de la Lluna	17
1.5 Separació angular estrella-Lluna	22
2. EQUACIÓ DE CONDICIÓ	25
2.1 En funció de les coordenades topocèntriques	26
2.2 En funció de les coordenades equatorials geocèntriques	31
2.3 En funció de les coordenades eclíptiques	33
2.4 En funció dels elements orbitals	34
2.5 Desenvolupament dels termes de nutació	38
2.6 Anàlisi de cada variable	40
2.7 Equació final	44
3. OBSERVACIONS: ANÀLISI, TRACTAMENT I RESULTATS	46
3.1 Anàlisi d'observacions	46
3.2 Tractament de les dades	54
3.3 Anàlisi de residus	57
3.4 Resolució de l'equació de condició	62
4. DISCUSSIÓ	73
4.1 Equacions personals	73
4.2 Sistema de referència FK5	74
4.3 Efemèrides DE200/LE200	79
4.4 Datum de Watts	83
4.5. Fluctuacions de la rotació de la Terra	86
4.6. Conclusions	92
BIBLIOGRAFIA	95
APÈNDIX I.	103

0. INTRODUCCIÓ

Hom va considerar uniforme la velocitat de rotació de la Terra fins el segle XIX. A finals del segle, alguns autors van començar a assenyalar que les fluctuacions observades del moviment de la Lluna podien ser degudes a variacions de la rotació terrestre. Per corroborar això calia una bona teoria del moviment lunar.

Per altra banda, si existien fluctuacions en la rotació de la Terra, s'havien d'observar irregularitats no només en la Lluna, sinó en tots els altres cossos del sistema solar, en funció de la raó de moviments propis. Observacions meridianes, eclipsis i trànsits de Mercuri, van confirmar la suposició.

L'existència de fluctuacions en la velocitat de rotació de la Terra fa que l'escala de temps universal, lligada a la rotació diürna, no sigui una escala uniforme del temps. Per tal d'establir una escala uniforme (Temps Dinàmic) que serveixi com a argument de temps a les equacions de moviment, diferents autors han comparat posicions observades i calculades de cossos del sistema solar com a via per determinar les irregularitats existents. La comparació d'ambdues posicions permet determinar la diferència $\Delta T = TD - TU$ (Temps Dinàmic - Temps Universal).

El 1955.5 es va establir la nova escala de Temps Atòmic Internacional (TAI). La seva relació amb el temps dinàmic i amb el temps universal es coneix i, per tant, l'escala uniforme TD està definida des del 1955.5. El període anterior ha estat estudiat per diversos autors que observen variacions molt elevades al voltant del 1900, variacions que no s'expliquen per la transferència de moment entre el nucli i el mantell terrestres, possible causa de les irregularitats. El present treball pre-

tén millorar els seus resultats, incorporant els darrers acords de la UAI (establiment d'un nou sistema fonamental, nova escala de temps, nou sistema de constants, nova època de referència, etc.), i utilitzant les efemèrides DE200/LE200, calculades per integració numèrica de les equacions de moviment dels cossos del sistema solar. Aquesta millora pot contribuir a clarificar els moments que actuen i trobar els fenòmens que poden produir-los.

Les ocultacions d'estrelles per la Lluna és un fenomen observat sistemàticament, des de fa anys, per observadors afeccionats i professionals. Podem disposar, doncs, de gran quantitat d'aquestes observacions que cobreixen un període molt ampli. Les dues raons, quantitat i extensió en el temps, fan que l'anàlisi i reducció d'aquest tipus d'observacions sigui un bon mètode per a la determinació de canvis en la rotació de la Terra.

Per tal de separar els errors deguts a les diferències d'escala de temps, dels deguts a les efemèrides, equacions personals i altres, hem dividit les observacions de què disposem en dos períodes: a) observacions del 1955.5 al 1980, i b) observacions del 1800 al 1955.5.

Hem analitzat les observacions del primer cas per determinar correccions a les constants utilitzades a les efemèrides, diferències entre els sistemes de referència dinàmic i estel·lar (FK5), correccions al datum de Watts i equacions personals. Hem aplicat aquestes correccions a les observacions del període 1800-1955.5 i considerat que l'única font d'error que resta és la diferència entre les escales de temps provocada per les fluctuacions de la velocitat de la rotació terrestre.

D'aquesta manera aquest treball cobreix dos objectius importants. Un, analitzar el nou sistema de referència FK5 establert per la UAI (1976) i UAI (1979), comparant-lo amb les efemèrides DE200/LE200, a la vegada que s'estudien les pròpies efemèrides, i l'altre, la redeterminació de les irregularitats en la velocitat de rotació de la Terra. L'anà-

lisi de les causes geofísiques d'aquestes fluctuacions queda fora dels objectius d'aquest treball.

S'inclouen correccions al datum de Watts, millorant resultats anteriors ja que aquí es tracta amb un nombre més elevat d'observacions.

Al capítol 1 descrivim el mètode seguit per a la reducció i al capítol 2, l'equació de condició establerta. Al capítol 3 fem una anàlisi de les observacions de què disposem i descrivim el procés de tractament de les dades i la resolució de l'equació de condició. Al capítol 4 presentem els resultats obtinguts i les conclusions que s'en deriven.

Agreixo a tots els membres d'aquest Departament l'ajuda en l'elaboració d'aquest treball i molt especialment al Dr. J.J. de Orús per fer-lo possible i haver-lo revisat i al Dr. G. Rosselló que me'l va proposar i molt eficientment l'ha dirigit. A L.V. Morrison la documentació facilitada i la discussió dels resultats. A l'Instituto y Observatorio de la Marina de San Fernando, i molt especialment a A. Salazar, haver-me proporcionat les efemèrides DE200/LE200, la digitització de les cartes de Watts i les directrius del càlcul de les posicions aparents. Al Centre de Càlcul de la Universitat de Barcelona, haver posat els mitjans per al tractament dels voluminosos fitxers d'aquest treball.

1. REDUCCIÓ

La reducció de l'ocultació d'una estrella per la Lluna, consisteix a trobar la distància angular teòrica que separa l'estrella de la superfície lunar al moment de l'ocultació. Donada aquesta època, l'estrella ocultada i les coordenades de l'observador, es tracta de calcular la posició aparent de l'estrella, la topocèntrica de la Lluna i la correcció per limbe lunar.

En aquest treball hem considerat les Resolucions adoptades per la Unió Astronòmica Internacional (UAI) en les Assemblees Generals XVI i XVII celebrades a Grenoble i Montreal el 1976 i 1979, respectivament. Aquestes resolucions inclouen:

- a) nou sistema de constants astronòmiques
- b) canvi de l'època estàndard B1950.0 a J2000.0
- c) Teoria de Nutació 1980
- d) nou sistema estel·lar de referència (FK5)
- e) correcció dels termes relativístics de l'aberració, i
- f) correcció de la deflexió de la llum produïda pel camp gravitatori del Sol.

Sevilla (1981) i Sevilla (1983) descriu cada un dels canvis i la seva repercusió a la reducció de posicions estel·lars.

1.1. EFEMÈRIDES DE200/LE200

Per conèixer la posició geocèntrica de la Lluna, utilitzem les efemèrides DE200/LE200 calculades conjuntament al Jet Propulsion Labora-

tory (JPL) i a l'United States Naval Observatory (USNO), a partir d'un procés que contempla la integració numèrica de les posicions dels cossos del sistema solar, obtingudes en observacions visuals, radioelèctriques, amb làser, radar i diverses sondes espacials (Standish, 1982a).

Les constants fonamentals emprades en aquesta integració són tals que fan mínima la diferència entre la teoria i l'observació, i difereixen, en alguns casos, de les adoptades per la UAI (1976). Les diferències les mostrem a la taula 1.

	<u>UAI (1976)</u>	<u>DE200/LE200</u>
temps llum per unitat de distància (s)	499.004782	499.0047837
ct. gravit. geocèntrica (m^3s^{-2})	$3.986005 \cdot 10^{14}$	$3.98600448 \cdot 10^{14}$
ct. gravit. heliocèntrica (m^3s^{-2})	$1.32712438 \cdot 10^{20}$	$1.32712440 \cdot 10^{20}$
massa Sol / massa Terra	332946.0	332936.038
massa Lluna / massa Terra	0.01230002	0.012300034
obliquïtat eclíptica J2000.0	$23^{\circ}26'21''.448$	$23^{\circ}26'21''.4119$
unitat de distància (m)	$1.49597870 \cdot 10^{11}$	$1.4959787066 \cdot 10^{11}$
massa Sol / massa (Terra + Lluna)	328900.5	328900.55
massa Sol / massa Júpiter	1047.355	1047.350
massa Sol / massa Saturn	3498.5	3498.0
massa Sol / massa Urà	22869	22960
massa Sol / massa Plutó	$3 \cdot 10^6$	$1.3 \cdot 10^8$

Taula 1. Diferències entre els valors adoptats per la UAI (1976) i les efemèrides DE200/LE200.

Les efemèrides DE200/LE200 es dedueixen de les anteriors DE118/LE62, canviant el sistema de referència a l'equador i equinocci dinàmics de l'època J2000.0 (Standish, 1982b). L'argument de temps de les efemèri-

des és el Temps Dinàmic Baricèntric (TDB).

Les efemèrides DE200/LE200 es presenten sota la forma de coordenades rectangulars heliocèntriques mitjanes referides al sistema de referència de l'època estàndard J2000.0, tabulades a 0h de TDB per a cada dia i per als nou planetes del sistema solar i la Lluna (Standish i Williams, 1982).

Anomenem H_i a aquestes coordenades heliocèntriques (i=1 per a Mercuri, i=2 per a Venus, i=3 per a la Terra, i=4 per a Mart, i=5 per a Júpiter, i=6 per a Saturn, i=7 per a Urà, i=8 per a Neptú, i=9 per a Plutó, i=10 per a la Lluna).

La posició baricèntrica B_i de l'astre i, es calcula com:

$$B_i(t) = H_i(t) - \frac{\sum_{i=1}^{10} H_i(t) M_i}{\sum_{i=1}^{10} M_i + M_s} \quad (1-1)$$

on M_i és la massa de cada astre i M_s és la massa del Sol que es pren com a unitat de massa.

1.2. ESCALES DE TEMPS

Temps dinàmic.

L'argument de temps utilitzat per interpolar les efemèrides DE200/LE200 és el Temps Dinàmic Baricèntric (TDB) definit per la UAI(1976) (Markowitz, 1980). L'escala dinàmica baricèntrica està relacionada amb la

dinàmica terrestre (TDT), per l'expressió de Moyer (1981a) i Moyer (1981b):

$$\text{TDB-TDT} = 15658 \cdot 10^{-3} \sin E_T + 20573 \cdot 10^{-6} \sin (L_T - L_J) + \dots \quad (1-2)$$

on $E_T = M_T + e_T \sin M_T$

e_T = excentricitat de l'òrbita terrestre = 0.01671

M_T = anomalia mitjana de la Terra = $6.248291 + 628.3019415 t$ (en radians)

L_T = longitud mitjana del baricentre Terra-Lluna

L_J = longitud mitjana de Júpiter

$L_T - L_J = 5.652593 + 575.3380832 t$ (en radians); en aquesta expressió

t és l'interval de temps dinàmic terrestre des del 1950.0 en fracció de segle julià.

El Temps Dinàmic Terrestre (TDT) està relacionat amb el Temps Atòmic Internacional TAI per l'expressió:

$$\text{TDT} = \text{TAI} + 325184 \quad (1-3)$$

i a la vegada, el temps TAI es relaciona amb el Temps Universal Coordinat (TUC) per les diferències $\text{DTA} = \text{TAI} - \text{TUC}$ publicades pel Bureau International de l'Heure (BIH, 1978) des de l'1/7/1955, època en què es va establir l'escala TAI (Orte, 1984).

Temps sideri.

L'expressió utilitzada per al càlcul del temps sideri mitjà a Greenwich, presa d'Aoki et al (1982), és l'adoptada a les resolucions de la

UAI(1976) i relaciona el temps sideri i l'escala TU1 de temps universal:

$$\text{TSMG}(0^h \text{ TU1}) = 6^h 41^m 50^s 54841 + 8640184^s 812866 T + 0^s 093104 T^2 - 6^s 2 \cdot 10^{-6} T^3 \quad (1-4)$$

on T és l'interval en segles julians de 36525 dies de TU1 transcorreguts des de J2000.0 a 12h de TU1. Aquesta expressió s'ha adoptat per tal que no hi hagi discontinuïtat en el valor o en el moviment de TU1, degudes a la correcció del punt zero d'ascensions rectes del FK4 i el seu moviment introduïdes al FK5.

El temps sideri aparent es troba a partir del temps sideri mitjà, de la nutació en longitud $\Delta\psi$, i de l'obliquïtat veritable ϵ , com a:

$$\theta_o = \text{TSMG} + \Delta\psi \cos \epsilon \quad (1-5)$$

1.3. POSICIÓ APARENT D'UNA ESTRELLA

Les posicions baricèntriques de les estrelles al nou catàleg estel·lar FK5 no inclouran els termes de l'aberració depenents de l'excentricitat de l'òrbita de la Terra. Les coordenades estaran referides a l'equador i equinocci de l'època estàndard J2000.0, definits de forma que coincideixin amb l'equador i equinocci dinàmics. Els moviments propis s'expressaran per segle julià, i seran coherents amb el nou valor de la precessió general en longitud.

El projecte de construcció del nou catàleg FK5 considera també correccions sistemàtiques a les posicions FK4 i correccions individuals en funció de la zona i la magnitud.

En aquest moment el catàleg FK5 encara no està disponible, per això en aquest treball hem optat per utilitzar un catàleg referit al sistema FK4, corregint les seves posicions i moviments propis per simular el catàleg FK5. En aquesta transformació no s'inclouen però, les correccions per zona perquè encara es troben en preparació. En concret, el catàleg emprat és el Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog (SAO), per poder cobrir els dos hemisferis amb un únic catàleg.

Un cop conegudes les coordenades d'una estrella en el nou sistema FK5, es pot procedir al càlcul de la posició aparent, considerant els acords de la UAI(1976).

Pas del sistema FK4 al sistema FK5.

Les correccions que cal aplicar al sistema FK4 per transformar-lo en sistema FK5, són:

a) Les posicions mitjanes B1950.0 de les estrelles FK4, inclouen els termes de l'aberració depenents de l'excentricitat. Han d'eliminar-se aquests termes perquè no hi siguin a les posicions FK5.

b) Conversió de l'equinocci FK4 en FK5.

c) Precessió de les posicions mitjanes B1950.0 a la nova època estàndard de referència J2000.0.

d) Canvi de l'escala de temps dels moviments propis (segles tròpics per segles julians).

e) Correcció dels moviments propis pel moviment de l'equinocci FK4 respecte del dinàmic.

f) Correcció dels moviments propis pel canvi en el valor de la

precessió general en longitud.

Aoki et al (1983) descriuen cadascun d'aquests passos. A continuació esquematitzem el procés seguit per a la transformació.

Siguin α_{FK4} i δ_{FK4} les coordenades d'una estrella en el sistema FK4, μ_{FK4} i μ'_{FK4} els respectius moviments propis en segles tròpics, i π_{FK4} i V_{FK4} la paral.laxi i velocitat radial.

Construïm els vectors:

$$\underline{x}_0 = \begin{bmatrix} \cos \delta_{FK4} \cos \alpha_{FK4} \\ \cos \delta_{FK4} \sin \alpha_{FK4} \\ \sin \delta_{FK4} \end{bmatrix}$$

$$\dot{\underline{x}}_0 = 15 \mu_{FK4} \begin{bmatrix} -\cos \delta_{FK4} \sin \alpha_{FK4} \\ \cos \delta_{FK4} \cos \alpha_{FK4} \\ 0 \end{bmatrix} + \mu'_{FK4} \begin{bmatrix} -\sin \delta_{FK4} \cos \alpha_{FK4} \\ -\sin \delta_{FK4} \sin \alpha_{FK4} \\ \cos \delta_{FK4} \end{bmatrix} +$$

$$+ 21.094502 \pi_{FK4} \frac{V_{FK4}}{FK4} \underline{x}_0 \quad (1-5)$$

on:

μ_{FK4} i μ'_{FK4} s'expressen en s/segle tròpic i "/segle tròpic, respectivament, i π_{FK4} i V_{FK4} en " i km/segle tròpic, respectivament.

La posició \underline{x}'_0 i la velocitat $\dot{\underline{x}}'_0$ de l'estrella sense els termes de l'aberració depenents de l'excentricitat (Aoki et al, 1983) són:

$$\underline{x}'_0 = \underline{x}_0 - \underline{A} + (\underline{x}_0 \underline{A}) \underline{x}_0 \quad (1-7)$$

$$\underline{\dot{x}}'_0 = \underline{\dot{x}}_0 - \underline{\dot{A}} + (\underline{x}_0 \underline{\dot{A}}) \underline{x}_0$$

on $\underline{A} = 10^{-6}(-1.62557, -0.31919, -0.13843)$ i $\underline{\dot{A}} = 10^{-3}(1.245, -1.580, -0.659)$.
Les unitats corresponents són radians i $^{\circ}$ /segle tròpic.

Els canvis d'època, rotació de l'equinocci, canvi d'escala i modificació de moviments propis, poden agrupar-se en una matriu M (6x6) de la forma:

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.9999256782 & -0.0111820610 & -0.0048579477 & 0.0000024239502 & -0.0000000271066 & -0.0000000117766 \\ 0.0111820609 & 0.9999374784 & -0.0000271765 & 0.0000000271066 & 0.0000024239788 & -0.0000000000659 \\ 0.0048579479 & -0.0000271474 & 0.9999881997 & 0.0000000117766 & -0.0000000000658 & 0.0000024241017 \\ -0.00055 & -0.23854 & 0.43574 & 0.99994704 & -0.1118251 & -0.00485767 \\ 0.23849 & -0.00267 & -0.00854 & 0.01118251 & 0.99995883 & -0.00002718 \\ -0.43562 & 0.01225 & 0.00212 & 0.00485767 & -0.00002714 & 1.00000956 \end{bmatrix}$$

La correcció d'equinocci que s'inclou en aquesta matriu és la que dona Fricke (1981) i Fricke (1982) de $E = (0^{\circ}035 \pm 0^{\circ}003) + (0^{\circ}085 \pm 0^{\circ}010)$ (T-19.50). Pel que fa referència a l'equador no s'aplica cap correcció perquè es considera que el del FK4 i el dinàmic ja són coincidents.

El vector posició \underline{x}_1 i la velocitat $\underline{\dot{x}}_1$ d'una estrella en el sistema FK5, ve donada com a:

$$\begin{bmatrix} \underline{x}_1 \\ \underline{\dot{x}}_1 \end{bmatrix} = [M] \cdot \begin{bmatrix} \underline{x}'_0 \\ \underline{\dot{x}}'_0 \end{bmatrix} \quad (1-8)$$

Si definim:

$$\underline{r}_1 \equiv \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad \dot{\underline{r}}_1 \equiv \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \quad (1-9)$$

podem obtenir:

$$\begin{aligned} r &= (x^2+y^2+z^2)^{1/2} \\ \cos \delta_1 \cos \alpha_1 &= x / r \\ \cos \delta_1 \sin \alpha_1 &= y / r \\ \sin \delta_1 &= z / r \\ \mu_1 &= (x\dot{y}-\dot{x}y)/(x^2+y^2)/15 \\ \mu'_1 &= (\dot{z}(x^2+y^2)-z(x\dot{x}+y\dot{y}))/(r^2(x^2+y^2)^{3/2}) \\ \pi_1 &= \pi_{FK4} / r \\ V_1 &= 0.047404704 (x\dot{x}+y\dot{y}+z\dot{z}) / \pi_{FK4} r \end{aligned} \quad (1-10)$$

La posició FK5 de l'estrella, ve donada per la seva ascensió recta α_1 i la seva declinació δ_1 , i els respectius moviments propis per μ_1 i μ'_1 (expressats en s/segle julià i "/segle julià, respectivament), així com la nova paral.laxi π_1 i la nova velocitat radial V_1 . Aquests valors es calculen a partir de les expressions (1-10).

Càlcul de la posició aparent.

La posició aparent de l'estrella en una certa època t , es calcula a partir de la posició mitjana baricèntrica a J2000.0, aplicant una cor -

recció per moviment propi, un desplaçament per trobar la posició geocèntrica (en funció de la posició baricèntrica de la Terra, deduïda de les efemèrides), i correccions per deflexió, aberració, precessió i nutació.

La posició geocèntrica de l'estrella a l'època t vindrà donada per:

$$\underline{x}_2 = \underline{x}_1 + \dot{\underline{x}}_1 T - \pi \frac{\underline{B}}{1-3} \quad (1-11)$$

on \underline{B}_3 és la posició baricèntrica de la Terra a la data t , i T és el temps dinàmic terrestre transcorregut des de l'època de referència J2000.0 a l'època t , en segles julians.

El camp gravitatori del Sol produeix un efecte de deflexió sobre la trajectòria del raig de llum de l'estrella. La posició de l'estrella corregida d'aquest efecte ve donada per (Wade 1976 i Brandt 1974):

$$\underline{x}_3 = \underline{x}'_2 + \frac{2\mu}{c^2 H_3} \frac{\underline{h}_3 - (\underline{x}'_2 \cdot \underline{h}_3) \underline{x}'_2}{1 + \underline{x}'_2 \cdot \underline{h}_3} \quad (1-12)$$

on: μ : constant gravitatòria heliocèntrica

c : velocitat de la llum

H_3 : distància Terra-Sol

\underline{h}_3 : vector unitari de la posició heliocèntrica de la Terra

\underline{x}'_2 : vector unitari de \underline{x}_2 .

La posició geocèntrica de l'estrella corregida del fenomen de l'aberració, considerant els termes relativístics tal com recomana la UAI, és (Salazar, 1985):

$$\underline{x}_4 = \left[\beta \underline{x}'_3 + \dot{\underline{B}}'_3 + \frac{(\underline{x}'_3 \cdot \dot{\underline{B}}'_3) \dot{\underline{B}}'_3}{1 + \beta} \right] / (1 + \underline{x}'_3 \cdot \dot{\underline{B}}'_3)$$

(1-13)

on: \underline{x}'_3 = vector unitari de \underline{x}_3

$$\dot{\underline{B}}'_3 = \dot{\underline{B}}_3 / c$$

$\dot{\underline{B}}_3$ = velocitat baricèntrica de la Terra a la data t

$$\beta = (1 - \dot{\underline{B}}_3^2)^{1/2}$$

$$\dot{\underline{B}}'_3 = \text{mòdul de } \dot{\underline{B}}'_3.$$

\underline{x}_4 representa la posició aparent de l'estrella a l'època t , en relació al sistema de referència J2000.0.

Per referir la posició \underline{x}_4 al sistema veritable de la data, cal aplicar les correccions de precessió i nutació.

$$\underline{x}_5 \equiv \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = [N][P] \cdot \underline{x}_4 \quad (1-14)$$

on $[N]$ representa la matriu de nutació, $[P]$ la de la precessió i \underline{x}_4 és el vector unitari de \underline{x}_4 .

La matriu de precessió és de la forma:

$$[P] = \begin{bmatrix} X & Y & Z \\ x & y & z \\ X & Y & Z \\ y & y & y \\ X & Y & Z \\ z & z & z \end{bmatrix} \quad (1-15)$$

sent:

$$\begin{aligned} X_x &= \cos \xi' \cos \theta' \cos z - \sin \xi' \sin z \\ Y_x &= -\sin \xi' \cos \theta' \cos z - \cos \xi' \sin z \\ Z_x &= -\sin \theta' \cos z \\ X_y &= \cos \xi' \cos \theta' \sin z + \sin \xi' \cos z \\ Y_y &= -\sin \xi' \cos \theta' \sin z + \cos \xi' \cos z \\ Z_y &= -\sin \theta' \sin z \\ X_z &= \cos \xi' \sin \theta' \\ Y_z &= -\sin \xi' \sin \theta' \\ Z_z &= \cos \theta' \end{aligned} \quad (1-16)$$

Lieske (1979) calcula la matriu per a la transformació de l'època B1950.0 a l'època J2000.0. Lieske et al (1977) donen els paràmetres precessionals com a:

$$\begin{aligned} \xi' &= 2306''.2181 T + 0''.30188 T^2 + 0''.017998 T^3 \\ z &= 2306''.2181 T + 1''.09468 T^2 + 0''.018203 T^3 \\ \theta' &= 2004''.3109 T - 0''.42665 T^2 - 0''.041833 T^3 \end{aligned} \quad (1-17)$$

on T és el temps transcorregut des de J2000.0 a l'època t en fracció de

segle julià.

La matriu de nutació és de la mateixa forma que la de la precessió. Els elements són:

$$\begin{aligned}
 X_x &= \cos \Delta\psi \\
 Y_x &= -\sin \Delta\psi \cos \epsilon \\
 Z_x &= -\sin \Delta\psi \sin \epsilon \\
 X_y &= \sin \Delta\psi \cos \epsilon \\
 Y_y &= \cos \Delta\psi \cos \epsilon \cos \epsilon_0 + \sin \epsilon \sin \epsilon_0 \\
 Z_y &= \cos \Delta\psi \cos \epsilon \sin \epsilon_0 - \sin \epsilon \cos \epsilon_0 \\
 X_z &= \sin \Delta\psi \sin \epsilon \\
 Y_z &= \cos \Delta\psi \sin \epsilon \cos \epsilon_0 - \cos \epsilon \sin \epsilon_0 \\
 Z_z &= \cos \Delta\psi \sin \epsilon \sin \epsilon_0 + \cos \epsilon \cos \epsilon_0
 \end{aligned} \tag{1-18}$$

on $\Delta\psi$ és la nutació en longitud i ϵ_0 és l'obliquïtat mitjana de l'eclíptica per a la data t , i d'acord amb la UAI, es calcula com a (Lieske et al, 1977) :

$$\epsilon_0 = 84381''.448 - 46''.815 T - 0''.00059 T^2 + 0''.001813 T^3 \tag{1-19}$$

ϵ és l'obliquïtat veritable de la data que es troba a partir de la nutació en obliquïtat com $\epsilon = \epsilon_0 + \Delta\epsilon$.

Les nutacions en longitud i obliquïtat es poden calcular com a:

$$\begin{aligned}
 \Delta\psi &= \sum_{i=1}^{106} (A_i + C_i T) \sin(\alpha_{1i} l + \alpha_{2i} l' + \alpha_{3i} F + \alpha_{4i} D + \alpha_{5i} \Omega) \\
 \Delta\epsilon &= \sum_{i=1}^{106} (D_i + F_i T) \cos(\alpha_{1i} l + \alpha_{2i} l' + \alpha_{3i} F + \alpha_{4i} D + \alpha_{5i} \Omega)
 \end{aligned} \tag{1-20}$$

on A_i, C_i, D_i, F_i són els coeficients de la nutació i $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$, els múltiples dels arguments, tots ells presos de la sèrie de 106 termes de la nova Teoria de Nutació 1980 (Seidelmann, 1982):

$$\ell = 485866.733 + (1325^T + 715922.633) T + 31.310 T^2 + 0.064 T^3$$

$$\ell' = 1287099.804 + (99^T + 1292581.224) T - 0.577 T^2 - 0.012 T^3$$

$$F = 335778.877 + (1342^T + 295263.137) T - 13.257 T^2 + 0.011 T^3$$

$$D = 1072261.307 + (1236^T + 1105601.328) T - 6.891 T^2 + 0.019 T^3$$

$$\Omega = 450160.280 - (5^T + 482890.539) T + 7.455 T^2 + 0.008 T^3$$

(1-21)

Sevilla i Romero (1983) comparen aquesta nova Teoria de Nutació 1980 adoptada per la UAI amb les sèries de Woolard (1953), Kinoshita (1977) i UAI (1979).

Les coordenades angulars aparents, ascensió recta i declinació, venen donades per:

$$\alpha' = \text{tg}^{-1} (y' / x')$$

(1-22)

$$\delta' = \text{sin}^{-1} z'$$

1.4. POSICIÓ APARENT DE LA LLUNA

La posició geocèntrica geomètrica de la Lluna en una època t (t mesurada en l'escala de Temps Dinàmic Baricèntric), pot calcular-se a par

tir de les posicions heliocèntriques d'aquesta i de la Terra com:

$$\underline{G}_{10} = \underline{H}_{10}(t) - \underline{H}_3(t)$$

Ara bé, com que la velocitat de la llum és finita, la posició aparent d'un astre en una època t no és la geomètrica \underline{G}_i corresponent en aquesta data, sinó que correspon a la posició \underline{G}_i del temps $(t-\tau)$, sent τ el temps que triga la llum a recórrer la distància \underline{G}_i . En el cas de la Lluna:

$$\underline{G}'_{10} = \underline{H}_{10}(t-\tau) - \underline{H}_3(t) \quad (1-23)$$

Els raigs de llum, per efecte de l'atracció gravitatòria del Sol, sofreixen un canvi de direcció que pot ser de l'ordre de $1.8''$ a la vora del Sol i disminueix quasi linealment amb la distància angular en aquest astre. En terme mitjà és una correcció d'aproximadament $0.002''$ (Wade 1976 i Brandt 1974). Ja que la precisió de les efemèrides és d'aquest ordre, cal corregir aquest fenomen. La posició geocèntrica de la Lluna corregida de la deflexió és:

$$\underline{G}_{L1} = \underline{g}'_{10} + \frac{2\mu}{c^2 B_3} \frac{(\underline{g}'_{10} \cdot \underline{b}_{10}) \underline{b}_3 - (\underline{b}_3 \cdot \underline{g}'_{10}) \underline{b}_{10}}{1 + (\underline{b}_{10} \cdot \underline{b}_3)} \quad (1-24)$$

on g'_{10} i \underline{g}'_{10} són el mòdul i el vector unitari de \underline{G}'_{10} , respectivament, i B_i i \underline{b}_i són el mòdul i el vector unitari de $\underline{B}_i(t)$, corresponent a la posició baricèntrica de l'astre i .

La correcció per aberració deguda al moviment de l'observador no depèn de la distància a què es troba l'astre, i per tant, abans d'aplicar-la hem de normalitzar el vector:

$$\underline{g}_{L1} = \underline{G}_{L1} / |\underline{G}_{L1}|$$

La posició corregida d'aquest fenomen, incloent els termes relativístics, ve donada per:

$$\underline{G}_{L2} = \left[\beta \underline{g}_{L1} + \dot{\underline{B}}'_3 + \frac{(\underline{g}_{L1} \dot{\underline{B}}'_3) \dot{\underline{B}}'_3}{1 + \beta} \right] / (1 + \underline{g}_{L1} \dot{\underline{B}}'_3)$$

(1-25)

Si tornem a normalitzar:

$$\underline{g}_{L2} = \underline{G}_{L2} / |\underline{G}_{L2}|$$

Per referir la posició aparent \underline{g}_{L2} de la Lluna al sistema veritable de la data t , cal aplicar les matrius de precessió i nutació, tal com ja hem fet en el cas de l'estrella.

$$\underline{a}_{L3} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = [N] \cdot [P] \cdot \underline{a}_{L2} \quad (1-26)$$

L'ascensió recta i declinació geocèntriques de la Lluna vindran donades per:

$$\alpha_g = \text{tg}^{-1} (y / x)$$

$$\delta_g = \text{sin}^{-1} z \quad (1-27)$$

La distància geocèntrica Terra-Lluna, r_g , ve donada pel mòdul de \underline{G}_{10} .

Siguin H , δ i r l'angle horari, declinació i distància al centre de la Lluna per a un observador de coordenades geocèntriques ρ i \varnothing' . Les coordenades topocèntriques i les corresponents geocèntriques es relacionen per (Orús, 1966, full 51):

$$\begin{aligned} r \cos \delta \sin H &= r_g \cos \delta_g \sin H_g \\ r \cos \delta \cos H &= r_g \cos \delta_g \cos H_g - r_\rho \cos \varnothing' \sin \pi_g \\ r \sin \delta &= r_g \sin \delta_g - r_\rho \sin \varnothing' \sin \pi_g \end{aligned} \quad (1-28)$$

sent π_g la paral·laxi de la Lluna, que ve donada per $\sin \pi_g = 6378.140 \text{ km} / r_g$, i H_g l'angle horari geocèntric que en funció de l'ascensió recta i del temps sideri és $H_g = \theta - \alpha_g$. De la mateixa forma, l'ascensió recta topocèntrica, α , ve donada per $\alpha = \theta - H$.

Les coordenades facilitades pels observadors són, en general, coor

denades geodèsiques referides en algun dels datums principals o en algun de nacional. Per tal de tenir homogeneïtat, reduïm totes les coordenades a un mateix datum comú, i considerem el que adopta la UAI (1976). Aquest datum està caracteritzat per un radi equatorial de 6378.140 km i un aplanament de 1/298.257. La reducció en aquest datum comú es fa mitjançant la relació dels datums individuals amb el datum AMOMD F68 (Fischer, 1968).

La latitud geocèntrica ϕ' , pot calcular-se a partir de la geodèsica ϕ_g per (Orús, 1966, full 44):

$$\operatorname{tg} \phi' = (1-f)^2 \operatorname{tg} \phi_g \quad (1-29)$$

sent f el valor de l'aplanament.

La distància geocèntrica de l'observador al centre de la Terra, ρ , ve donada per:

$$\rho^2 = C^2(\phi_g) \left[(1-f)^4 \sin^2 \phi_g + \cos^2 \phi_g \right] \quad (1-30)$$

on: $C(\phi_g) = (1 - (2f - f^2) \sin^2 \phi_g)^{-1/2}$

Si considerem que l'observador no és sobre l'el·lipsoide, sinó a una certa alçada H' (en unitats de radis equatorials terrestres), tenim finalment les expressions:

$$\rho \cos \phi' = (C(\phi_g) + H') \cos \phi_g \quad (1-31)$$

$$\rho \sin \phi' = (S(\phi_g) + H') \sin \phi_g$$

on: $S(\phi_g) = (1-f)^2 C(\phi_g)$

1.5. SEPARACIÓ ANGULAR ESTRELLA-LLUNA

Considerant el triangle esfèric Estrella-Pol-Lluna, podem deduir:

$$\cos \phi = \sin \delta' \sin \delta + \cos \delta' \cos \delta \cos (\alpha' - \alpha) \quad (1-32)$$

on ϕ és la distància angular topocèntrica entre l'estrella i el centre de la Lluna definit per les efemèrides.

El semidiàmetre topocèntric, s , de la Lluna podem determinar-lo per:

$$\sin s = R_L / r \quad (1-33)$$

sent R_L el radi equatorial de la Lluna, el valor del qual prenem de les efemèrides DE200/LE200 com a 1738.0 km (Newhall et al, 1983).

La correcció, per les irregularitats del limbe lunar, σ_w , l'obtenim de les cartes de Watts (1963), en funció de les libracions topocèntriques i l'angle d'ocultació Π (Jordi, 1982). Posteriorment la reduïm a la distància topocèntrica. En un estudi fet per L.V. Morrison (1970) a partir d'ocultacions rasants d'estrelles, deduïa que el limbe lunar de les cartes, concordava millor amb les observacions si es tenia en compte una correcció sistemàtica de $0.25''$ a l'angle d'ocultació. C. Van Flandern (1970) trobava una correcció semblant de $0.22''$, i A. Salazar (1979) determinava un valor de $0.25''$. Appleby & Morrison (1983) trobaven un valor de $0.237''$. En aquest treball hem aplicat el terme correctiu de $0.25''$.

La correcció de Watts reduïda a distància topocèntrica és:

$$\frac{\sigma'}{w} = \frac{\sigma}{w} (\sin \pi / \sin \pi') \quad (1-34)$$

sent π' la paral.laxi geocèntrica a distància mitjana i π la mateixa a distància topocèntrica.

Degut a l'efecte de la refracció de l'atmosfera terrestre, l'astre observat, sofreix un desplaçament, que pot interpretar-se com un desplaçament relatiu de l'observador sobre la superfície de la Terra donat per (Explanatory Supplement, 1974, full 55):

$$\frac{\delta\rho}{\rho} = \mu_o \frac{\sin(z_L - R_a)}{\sin z_L} - 1 \quad (1-35)$$

on: μ_o = index de refracció mitjana

z_L = distància zenital topocèntrica de la Lluna

R_a = valor tabulat de la refracció

Aquest desplaçament de l'observador provoca un canvi a la paral.laxi de la Lluna, que comporta una modificació de la separació angular entre l'estrella i la Lluna donada per Morrison (1979a):

$$\sigma_{ref} = \frac{\delta\rho}{\rho} \left[(\delta - \delta_g) \cos \chi + (\alpha - \alpha_g) \sin \chi \right] \quad (1-36)$$

on:

$$\text{tg } \chi = \cos \delta' \sin (\alpha' - \alpha) / (\sin \delta' \cos \delta - \cos \delta' \sin \delta \cos (\alpha' - \alpha))$$

(1-37)

La definitiva separació angular entre l'estrella i el limbe real de la Lluna, ve donada per:

$$\sigma_c = \phi - \xi - \sigma'_w - \sigma_{ref} \quad (1-38)$$

2. EQUACIÓ DE CONDICIÓ

L'única quantitat que pot determinar-se al moment d'una ocultació és l'època en què es produeix. Per a aquesta època, hem calculat al capítol anterior les posicions predites pels catàlegs estel·lars i per les efemèrides. Podem establir una equació observació-càlcul de la forma:

$$O - C = \sigma_o - \sigma_c \equiv \Delta\sigma \quad (2-1)$$

on σ_o correspon a la distància angular observada entre l'estrella i la vora real de la Lluna, i σ_c a la calculada.

La diferència o residu, $\Delta\sigma$, en general no és zero, i això ha d'interpretar-se com l'existència d'errors a les variables que intervenen al càlcul de σ_c .

Ja que $\sigma_c = \sigma(x_i)$ amb $i = 1, \dots, n$ derivant obtenim:

$$\Delta\sigma = \sum_{i=1}^n \frac{\partial\sigma}{\partial x_i} \Delta x_i \quad (2-2)$$

Considerant l'equació (1-38) podem deduir:

$$\Delta\sigma = \Delta\phi - \Delta s - \Delta\sigma'_w - \Delta\sigma_{ref} \quad (2-3)$$

i substituint-hi (2-2) tenim:

$$\Delta\sigma = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial\phi}{\partial x_i} - \frac{\partial s}{\partial x_i} - \frac{\partial\sigma'}{\partial x_i} - \frac{\partial\sigma}{\partial x_i} \right] \Delta x_i \quad (2-4)$$

Tenim el problema centrat doncs en determinar les diferents derivades de la separació angular estrella-centre de la Lluna, semidiàmetre de la Lluna, correcció del limbe i correcció de refracció.

2.1. EN FUNCIÓ DE LES COORDENADES TOPOCÈNTRIQVES

a) Separació angular ϕ . Derivant l'equació (1-32), i considerant $\cos \phi = f(x_i)$, obtenim:

$$\Delta\phi = \frac{-1}{\sin\phi} \left[\frac{\partial f}{\partial\alpha} \Delta\alpha + \frac{\partial f}{\partial\delta} \Delta\delta + \frac{\partial f}{\partial\alpha'} \Delta\alpha' + \frac{\partial f}{\partial\delta'} \Delta\delta' \right] \quad (2-5)$$

Si definim els coeficients a_1, a_2, a_3 i a_4 de la forma:

$$a_1 = \frac{-1}{\sin\phi} \frac{\partial f}{\partial\alpha} = - \frac{\cos\delta' \cos\delta \sin(\alpha' - \alpha)}{\sin\phi}$$

$$a_2 = \frac{-1}{\sin\phi} \frac{\partial f}{\partial\delta} = - \frac{\sin\delta' \cos\delta - \cos\delta' \sin\delta \cos(\alpha' - \alpha)}{\sin\phi}$$

$$a_3 = \frac{-1}{\sin \phi} \frac{\partial f}{\partial \alpha'} = -a_1 \quad (2-6)$$

$$a_4 = \frac{-1}{\sin \phi} \frac{\partial f}{\partial \delta'} = - \frac{\cos \delta' \sin \delta - \sin \delta' \cos \delta \cos(\alpha' - \alpha)}{\sin \phi}$$

i substituïm a (2-5), obtenim:

$$\Delta \phi = a_1 \Delta \alpha + a_2 \Delta \delta + a_3 \Delta \alpha' + a_4 \Delta \delta' \quad (2-7)$$

b) Semidiàmetre topocèntric s . Derivem l'equació (1-33).

$$\cos s \Delta s = - \left(\frac{R_L}{r^2} \right) \Delta r \quad (2-8)$$

Definim el coeficient a_5 de la forma:

$$a_5 = -K_1 \operatorname{tg} s / r \quad (2-9)$$

expressant r en unitats astronòmiques. K_1 representa la conversió d'unitats: $K_1 = (180 \cdot 3600 \cdot 1 \text{ ua}) / (\pi \cdot 1.4959787066 \cdot 10^8 \text{ km})$.

Així, substituïnt (2-9) a (2-8), tenim:

$$\Delta s = a_5 \Delta r \quad (2-10)$$

on Δs s'expressa en segons d'arc i Δr en km.

c) Correcció del limbe lunar. De l'expressió (1-34) i considerant la paral·laxi en funció de la distància Terra-Lluna, deduïm:

$$\Delta \sigma'_w = \frac{\partial \sigma'_w}{\partial \sigma_w} \Delta \sigma_w + \frac{\partial \sigma'_w}{\partial r} \Delta r \quad (2-11)$$

Definim els coeficients a_6 i a_7 de la forma:

$$a_6 = \frac{\partial \sigma'_w}{\partial \sigma_w} = \sin \pi / \sin \pi' \quad (2-12)$$

$$a_7 = \frac{\partial \sigma'_w}{\partial r} = -K_2 \sigma'_w / r$$

on $K_2 = 1ua / 1.4959787066 \cdot 10^8 \text{km}$.

Amb aquestes definicions, l'equació (2-11) es transforma en:

$$\Delta \sigma'_w = a_6 \Delta \sigma_w + a_7 \Delta r \quad (2-13)$$

d) Correcció per refracció. Derivant l'equació (1-36), podem obtenir:

$$\Delta \sigma_{\text{ref}} = \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \rho} \Delta \left(\frac{\delta \rho}{\rho} \right) + \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \delta_g} \Delta \delta_g + \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \chi} \Delta \chi + \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \alpha_g} \Delta \alpha_g$$

(2-14)

Definim:

$$\begin{aligned}
a_8 &= \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial (\delta/\rho)} = 3600((\delta - \delta_g) \cos \chi + 15(\alpha - \alpha_g) \sin \chi) \\
a_9 &= \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \delta} = \frac{\delta \rho}{\rho} \cos \chi \\
a_{10} &= \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \delta_g} = -a_9 \quad (2-15) \\
a_{11} &= \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \chi} = \frac{\delta \rho}{\rho} (-(\delta - \delta_g) \sin \chi + 15(\alpha - \alpha_g) \cos \chi) (\pi/180) \\
a_{12} &= \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \alpha} = \frac{\delta \rho}{\rho} \sin \chi \\
a_{13} &= \frac{\partial \sigma_{\text{ref}}}{\partial \alpha_g} = -a_{12}
\end{aligned}$$

Substituint aquests a_i pels coeficients de l'equació (2-14), obtenim:

$$\Delta \sigma_{\text{ref}} = a_8 \Delta \left(\frac{\delta \rho}{\rho} \right) + a_9 \Delta \delta + a_{10} \Delta \delta_g + a_{11} \Delta \chi + a_{12} \Delta \alpha + a_{13} \Delta \alpha_g \quad (2-16)$$

Derivant l'expressió (1-35):

$$\Delta \left(\frac{\delta \rho}{\rho} \right) = -\mu_o \frac{\sin R_a}{\sin^2 z_L} K_3 \Delta h_L = a_{14} \Delta h_L \quad (2-17)$$

sent $K_3 = \pi/(180 \cdot 3600)$ i h_L l'altura topocèntrica de la Lluna.

L'altura de la Lluna pot calcular-se a partir de les coordenades horàries i les geocèntriques de l'observador, de la forma:

$$\sin h_L = \cos \varphi' \cos \delta \cos H + \sin \varphi' \sin \delta$$

Considerant $\sin h_L = f(x_i)$, tindrem:

$$\cos h_L \Delta h_L = \frac{\partial f}{\partial \phi'} \Delta \phi' + \frac{\partial f}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f}{\partial H} \Delta H$$

i llavors:

$$\Delta h_L = a_{15} \Delta \phi' + a_{16} \Delta \delta + a_{17} \Delta H \quad (2-18)$$

sent:

$$\begin{aligned} a_{15} &= (-\sin \phi' \cos \delta \cos H + \cos \phi' \sin \delta) / \cos h_L \\ a_{16} &= (-\cos \phi' \sin \delta \cos H + \sin \phi' \cos \delta) / \cos h_L \\ a_{17} &= -\cos \phi' \cos \delta \sin H / \cos h_L \end{aligned} \quad (2-19)$$

Per altra banda, considerant l'equació (1-37) com a $\text{tg } \chi = f(x_i)$,

tenim:

$$\frac{1}{\cos^2 \chi} \Delta \chi = \frac{\partial f}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial f}{\partial \alpha'} \Delta \alpha' + \frac{\partial f}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f}{\partial \delta'} \Delta \delta'$$

Anàlegament als casos anteriors, podem expressar-ho com a:

$$\Delta \chi = a_{18} \Delta \alpha + a_{19} \Delta \alpha' + a_{20} \Delta \delta + a_{21} \Delta \delta' \quad (2-20)$$

sent:

$$\begin{aligned} a_{18} &= \cos \delta' (\cos \delta' \sin \delta - \sin \delta' \cos \delta \cos(\alpha' - \alpha)) \\ a_{19} &= -a_{18} \\ a_{20} &= \cos \delta' \sin(\alpha' - \alpha) (\sin \delta' \sin \delta + \cos \delta' \cos \delta \cos(\alpha' - \alpha)) \\ a_{21} &= -\cos \delta \sin(\alpha' - \alpha) \end{aligned}$$

(2-21)

Substituint les expressions (2-7), (2-10), (2-13), (2-16), (2-17), (2-18) i (2-20) a l'equació (2-5), i recordant la relació $\alpha = \theta - H$, obtenim:

$$\Delta\sigma = b_1 \Delta H + b_2 \Delta\delta + b_3 \Delta r + b_4 \Delta\alpha' + b_5 \Delta\delta' - a_{10} \Delta\delta_g + a_{13} \Delta H_g + b_6 \Delta\varphi' + b_7 \Delta\theta - a_6 \Delta\sigma_w \quad (2-22)$$

sent:

$$\begin{aligned} b_1 &= -a_1 - a_8 a_{14} a_{17} + a_{11} a_{18} + a_{12} \\ b_2 &= a_2 - a_8 a_{14} a_{16} - a_9 - a_{11} a_{20} \\ b_3 &= -a_5 - a_7 \\ b_4 &= a_3 - a_{11} a_{19} \\ b_5 &= a_4 - a_{11} a_{21} \\ b_6 &= -a_8 a_{14} a_{15} \\ b_7 &= a_1 - a_{11} a_{18} - a_{12} - a_{13} \end{aligned} \quad (2-23)$$

2.2. EN FUNCIÓ DE LES COORDENADES EQUATORIALS GEOCÈNTRIQÜES

Les coordenades topocèntriques de la Lluna i les corresponents geocèntriques estan relacionades per (1-28).

Definim:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \rho \cos \vartheta' \\ \psi_2 &= \rho \sin \vartheta' \end{aligned} \quad (2-24)$$

Derivant les expressions (1-28) i considerant la definició anterior, obtenim unes equacions del tipus:

$$\begin{aligned}
 \Delta \delta &= c_1 \Delta r_g + c_2 \Delta \delta_g + c_3 \Delta r + c_4 \Delta \psi_2 \\
 \Delta H &= c_5 \Delta r_g + c_6 \Delta \delta_g + c_7 \Delta H_g + c_8 \Delta \psi_1 \\
 \Delta r &= c_9 \Delta r_g + c_{10} \Delta \delta_g + c_{11} \Delta H_g + c_{12} \Delta \psi_1 + c_{13} \Delta \psi_2
 \end{aligned}
 \tag{2-25}$$

Els valors dels coeficients c_i són:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= K_1 \sin \delta_g / (r \cos \delta) \\
 c_2 &= r \cos \delta_g / (r \cos \delta) \\
 c_3 &= -K_1 \operatorname{tg} \delta / r \\
 c_4 &= -K_1 R_T / (r \cos \delta) \\
 c_5 &= K_1 \cos \delta_g (\sin H_g \cos H_g - \sin H \cos H_g) / (r \cos \delta) \\
 c_6 &= r \sin \delta_g (-\sin H_g \cos H_g + \sin H \cos H_g) / (r \cos \delta) \\
 c_7 &= c_2 (\cos H_g \cos H_g + \sin H_g \sin H) \\
 c_8 &= K_1 R_T \sin H / (r \cos \delta) \\
 c_9 &= (r_g - R_T \psi_1 \cos \delta_g \cos H_g - R_T \psi_2 \sin \delta_g) / r \\
 c_{10} &= K_3 r_g R_T (\psi_1 \sin \delta_g \cos H_g - \psi_2 \cos \delta_g) / r \\
 c_{11} &= K_3 r_g R_T \psi_1 \cos \delta_g \sin H_g / r \\
 c_{12} &= R_T (R_T \psi_1 - r_g \cos \delta_g \cos H_g) / r \\
 c_{13} &= R_T (R_T \psi_2 - r_g \sin \delta_g) / r
 \end{aligned}
 \tag{2-26}$$

Per altra banda, recordant les expressions (1-31) i (2-24), tenim:

$$\begin{aligned}
 \Delta \psi_1 &= \cos \vartheta' \Delta \rho - \rho \sin \vartheta' \Delta \vartheta' \\
 \Delta \psi_2 &= \sin \vartheta' \Delta \rho + \rho \cos \vartheta' \Delta \vartheta'
 \end{aligned}$$

De les equacions (1-29) i (1-30), deduïm:

$$\begin{aligned}
 \Delta \vartheta' &= c_{14} \Delta \vartheta_g \\
 \Delta \rho &= c_{15} \Delta \vartheta_g
 \end{aligned}
 \tag{2-27}$$

sent:

$$\begin{aligned}
 c_{14} &= (1-f)^2 \cos^2 \vartheta' / \cos^2 \vartheta \cos \vartheta_g \\
 c_{15} &= C^2(\vartheta) \sin \vartheta \cos \vartheta_g (\rho^2(2f-f^2)+(1-f^4)-1) / \rho
 \end{aligned}
 \tag{2-28}$$

Substituint aquests valors a les expressions anteriors:

$$\begin{aligned}
 \Delta\psi &= c_{16} \Delta\vartheta_g \\
 \Delta\psi &= c_{17} \Delta\vartheta_g
 \end{aligned}
 \tag{2-29}$$

sent:

$$\begin{aligned}
 c_{16} &= (c_{15} \cos \vartheta' - c_{14} \rho \sin \vartheta') K_3 \\
 c_{17} &= (c_{15} \sin \vartheta' + c_{14} \rho \cos \vartheta') K_3
 \end{aligned}
 \tag{2-30}$$

i, si ara substituïm les expressions (2-25) i (2-29) a (2-22), podem deduir:

$$\Delta\sigma = d_1 \Delta\alpha_g + d_2 \Delta\delta_g + d_3 \Delta r_g + b_4 \Delta\alpha' + b_5 \Delta\delta' + d_4 \Delta\vartheta_g + d_5 \Delta\theta - a_6 \Delta\sigma_w
 \tag{2-31}$$

sent:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= -a_{13} - b_1 c_7 - b_2 c_3 c_{11} - b_3 c_{11} \\
 d_2 &= -a_{10} + b_1 c_6 + b_2 c_2 + b_2 c_3 c_{10} + b_3 c_{10} \\
 d_3 &= b_1 c_5 + b_2 c_1 + b_2 c_3 c_9 + b_3 c_9 \\
 d_4 &= b_1 c_8 c_{16} + b_2 c_3 (c_{12} c_{16} + c_{13} c_{17}) + b_2 c_4 c_{17} + b_6 c_{14} + \\
 &\quad + b_3 c_{12} c_{16} + b_3 c_{13} c_{17} \\
 d_5 &= b_7 - d_1
 \end{aligned}
 \tag{2-32}$$

2.3. EN FUNCIÓ DE LES COORDENADES ECLIPTIQUES

Les coordenades geocèntriques i les eclíptiques estan relacionades

per:

$$\begin{aligned}
 \cos \delta_g \cos \alpha_g &= \cos \beta \cos \lambda \\
 \cos \delta_g \sin \alpha_g &= \cos \beta \sin \lambda \cos \epsilon - \sin \beta \sin \epsilon \\
 \sin \delta_g &= \cos \beta \sin \lambda \sin \epsilon + \sin \beta \cos \epsilon
 \end{aligned}$$

Derivant aquestes expressions i agrupant termes, podem deduir:

$$\begin{aligned}\Delta \delta_g &= e_1 \Delta \lambda + e_2 \Delta \beta + e_3 \Delta \epsilon \\ \Delta \alpha_g &= e_4 \Delta \lambda + e_5 \Delta \beta + e_6 \Delta \epsilon\end{aligned}\quad (2-33)$$

sent:

$$\begin{aligned}e_1 &= \sin \epsilon \cos \alpha_g \\ e_2 &= (\cos \epsilon - \sin \delta_g \sin \beta) / (\cos \beta \cos \delta_g) \\ e_3 &= \sin \alpha_g \\ e_4 &= (\cos \epsilon - \sin \delta_g \sin \beta) / \cos^2 \delta_g \\ e_5 &= -\sin \epsilon \cos \alpha_g / (\cos \beta \cos \delta_g) \\ e_6 &= -\operatorname{tg} \delta_g \cos \alpha_g\end{aligned}\quad (2-34)$$

Substituïnt (2-33) a (2-31), obtenim:

$$\begin{aligned}\Delta \sigma &= e_7 \Delta \lambda + e_8 \Delta \beta + e_9 \Delta \epsilon + d_3 \Delta r_g + b_4 \Delta \alpha' + b_5 \Delta \delta' + d_4 \Delta \varphi_g + \\ &\quad d_5 \Delta \theta - a_6 \Delta \sigma_w\end{aligned}\quad (2-35)$$

on:

$$\begin{aligned}e_7 &= d_1 e_4 + d_2 e_1 \\ e_8 &= d_1 e_5 + d_2 e_2 \\ e_9 &= d_1 e_6 + d_2 e_3\end{aligned}\quad (2-36)$$

2.4. EN FUNCIÓ DELS ELEMENTS ORBITALS

Desglosem la longitud veritable de la Lluna en funció de la longitud mitjana i la nutació en longitud:

$$\Delta \lambda = \Delta \lambda_m + \Delta (\Delta \psi)$$

i relacionem les coordenades eclíptiques amb els elements orbitals (Orús, 1966, full 113):

$$\begin{aligned} r_g \cos \beta \cos \lambda_m &= (\cos \Omega \cos \omega - \sin \Omega \cos i \sin \omega) \xi - \\ &\quad - (\cos \Omega \sin \omega + \sin \Omega \cos i \cos \omega) \eta \\ r_g \cos \beta \sin \lambda_m &= (\sin \Omega \cos \omega + \cos \Omega \cos i \sin \omega) \xi - \\ &\quad - (\sin \Omega \sin \omega - \cos \Omega \cos i \cos \omega) \eta \\ r_g \sin \beta &= \sin i (\xi \sin \omega + \eta \cos \omega) \end{aligned}$$

D'aquestes relacions deduïm:

$$\begin{aligned} \Delta \beta &= f_1 \Delta \xi + f_2 \Delta \eta + f_3 \Delta i + f_4 \Delta \omega + f_5 \Delta r_g \\ \Delta \lambda_m &= f_6 \Delta \xi + f_7 \Delta \eta + f_8 \Delta i + f_9 \Delta \omega + f_{10} \Delta \Omega \\ \Delta r_g &= f_{11} \Delta \xi + f_{12} \Delta \eta \end{aligned} \tag{2-37}$$

sent:

$$\begin{aligned} f_1 &= K_1 \sin i \sin \omega / r_g \cos \beta \\ f_2 &= K_1 \sin i \cos \omega / r_g \cos \beta \\ f_3 &= K_2 \cos i (\xi \sin \omega + \eta \cos \omega) / (r_g \cos \beta) \\ f_4 &= K_2 \sin i (\xi \cos \omega - \eta \sin \omega) / (r_g \cos \beta) \\ f_5 &= -K_1 \operatorname{tg} \beta / r_g \\ f_6 &= -K_1 K_2 \eta \cos i / (r_g \cos \beta)^2 \\ f_7 &= -K_1 K_2 \xi \cos i / (r_g \cos \beta)^2 \\ f_8 &= K_2^2 \sin i ((\eta^2 - \xi^2) \sin \omega \cos \omega + \xi \eta \sin i (1 - 2 \cos^2 \omega)) / \\ &\quad / (r_g \cos \beta)^2 \\ f_9 &= \cos i / \cos^2 \beta \\ f_{10} &= 1 \\ f_{11} &= K_2 \xi / r_g \\ f_{12} &= K_2 \eta / r_g \end{aligned} \tag{2-38}$$

Un error a la posició de l'equinocci contribueix a una desviació del nodus de l'òrbita, i per tant, produeix un terme erroni associat amb l'argument Ω . En canvi, no pot produir cap efecte periòdic en el moviment de la latitud (Morrison, 1979a). Qualsevol terme de freqüència λ_m en els residus en latitud caldrà atribuir-lo, doncs, a errors en el sistema estel·lar de referència. A partir de la relació:

$$\sin \beta = - \cos \delta_g \sin \alpha_g \sin \epsilon + \sin \delta_g \cos \epsilon$$

i derivant respecte de α_g , obtenim:

$$\begin{aligned} \cos \beta \left(\partial \beta / \partial \alpha_g \right) &= - \cos \delta_g \cos \alpha_g \sin \epsilon = \\ &= - \cos \beta \cos \lambda_m \sin \epsilon \cong - \cos \beta \cos \lambda_m \sin \epsilon \end{aligned}$$

D'aquesta forma,

$$\Delta \beta = - \cos \lambda_m \sin \epsilon \Delta \alpha_g$$

Ja que els residus d'ocultacions es formen a partir de les separacions angulars entre l'estrella i la Lluna, una correcció a l'ascensió recta de la Lluna és equivalent a una correcció de signe oposat a l'ascensió recta de l'estrella. Així:

$$\Delta \beta = \cos \lambda_m \sin \epsilon \Delta \alpha'_o \cong f_{13} \Delta \alpha'_o \quad (2-39)$$

Aquest terme és additiu a l'equació (2-37) de forma que seria:

$$\begin{aligned} \Delta \beta &= f_1 \Delta \xi + f_2 \Delta \eta + f_3 \Delta i + f_4 \Delta \omega + f_5 \Delta r_g + f_{13} \Delta \alpha'_o \\ \Delta \lambda_m &= f_6 \Delta \xi + f_7 \Delta \eta + f_8 \Delta i + f_9 \Delta \omega + f_{10} \Delta \Omega \\ \Delta r_g &= f_{11} \Delta \xi + f_{12} \Delta \eta \end{aligned} \quad (2-40)$$

Recordant,

$$\xi = a \cos (E_L - e)$$

$$r = a (1 - e^2)^{1/2} \sin E_L$$

i derivant, deduïm:

$$\Delta \xi = f_{14} \Delta a + f_{15} \Delta e + f_{16} \Delta E_L$$

$$\Delta r = f_{17} \Delta a + f_{18} \Delta e + f_{19} \Delta E_L \quad (2-41)$$

sent:

$$f_{14} = \quad / a$$

$$f_{15} = - a$$

$$f_{16} = - K_3 a \sin E_L$$

$$f_{17} = r / a \quad (2-42)$$

$$f_{18} = - r e / (1 - e^2)$$

$$f_{19} = K_3 a (1 - e^2)^{1/2} \cos E_L$$

L'anomalia mitjana en funció de l'anomalia excèntrica s'escriu com:

$$l = E_L - e \sin E_L$$

Desenvolupant en forma de Mac-Laurin (Orús, 1966, full 103):

$$E_L = l + e \sin l + e^2 / 2 \sin 2l + e^3 / 8 (3 \sin 3l - \sin l) + \dots$$

Si derivem aquesta expressió:

$$\Delta E_L = f_{20} \Delta e + f_{21} \Delta l \quad (2-43)$$

sent:

$$f_{20} = (\sin l + e \sin 2l + 3e^2/8 (3 \sin 3l - \sin l) + \dots) / K_3$$

$$f_{21} = 1 + e \cos l + e^2 \cos 2l + e^3/8 (9 \cos 3l - \cos l) + \dots \quad (2-44)$$

Substituint (2-40), (2-41) i (2-43) a (2-35), obtenim:

$$\Delta\sigma = g_1 \Delta a + g_2 \Delta e + g_3 \Delta i + g_4 \Delta \Omega + g_5 \Delta \omega + g_6 \Delta l + e_7 \Delta(\Delta\psi) + e_9 \Delta\epsilon + b_4 \Delta\alpha' + b_5 \Delta\delta' + d_4 \Delta\phi + d_5 \Delta\theta - a_6 \Delta\sigma_w + g_7 \Delta\alpha'_o \quad (2-45)$$

on:

$$\begin{aligned} g_1 &= f_{22} f_{14} + f_{23} f_{17} \\ g_2 &= f_{22} f_{15} + f_{23} f_{18} + f_{20} (f_{22} f_{16} + f_{23} f_{19}) \\ g_3 &= e_7 f_8 + e_8 f_3 \\ g_4 &= e_7 f_{10} \\ g_5 &= e_7 f_9 + e_8 f_4 \\ g_6 &= f_{21} (f_{22} f_{16} + f_{23} f_{19}) \\ g_7 &= e_8 f_{13} \\ f_{22} &= e_7 f_6 + e_8 f_1 + (d_3 + e_8 f_5) f_{11} \\ f_{23} &= e_7 f_7 + e_8 f_2 + (d_3 + e_8 f_5) f_{12} \end{aligned} \quad (2-46)$$

2.5. DESENVOLUPAMENT DELS TERMES DE NUTACIÓ

Recordant $\theta = \theta_o + 1.0027370934 TU1 - \lambda_c$ i l'equació (1-5) i derivant,

$$\Delta\theta = h_1 \Delta(\Delta\psi) + h_2 \Delta\epsilon + h_3 \Delta TU1 - \Delta\lambda_c \quad (2-47)$$

sent:

$$\begin{aligned} h_1 &= \cos \epsilon \\ h_2 &= -K_3 \Delta\psi \sin \epsilon \\ h_3 &= 15 \cdot 1.0027379034 \end{aligned}$$

Substituïnt (2-47) a (2-45) i recordant $\varepsilon = \varepsilon_o + \Delta\varepsilon$, tenim:

$$\begin{aligned} \Delta\sigma = & g_1 \Delta a + g_2 \Delta e + g_3 \Delta i + g_4 \Delta\Omega + g_5 \Delta\omega + g_6 \Delta l + h_5 \Delta(\Delta\psi) - d_5 \Delta\lambda_c + \\ & + h_6 \Delta\varepsilon_o + h_6 \Delta(\Delta\varepsilon) + b_4 \Delta\alpha' + b_5 \Delta\delta' + d_4 \Delta\theta_g + h_7 \Delta TU1 - a_6 \Delta\sigma_w + \\ & + g_7 \alpha' \end{aligned} \quad (2-48)$$

sent:

$$\begin{aligned} h_5 &= e_7 + d_5 h_1 \\ h_6 &= e_9 + d_5 h_2 \\ h_7 &= d_5 h_3 \end{aligned} \quad (2-49)$$

Considerant les expressions (1-20) de les nutacions en longitud i obliquïtat:

$$\begin{aligned} \Delta(\Delta\psi) &= i_1 \Delta l + i_2 \Delta l' + i_3 \Delta F + i_4 \Delta D + i_5 \Delta\Omega + i_6 \Delta T \\ \Delta(\Delta\varepsilon) &= i_7 \Delta l + i_8 \Delta l' + i_9 \Delta F + i_{10} \Delta D + i_{11} \Delta\Omega + i_{12} \Delta T \end{aligned} \quad (2-50)$$

on :

$$\begin{aligned} i_1 &= h_8 \alpha_{1i} \\ i_2 &= h_8 \alpha_{2i} \\ i_3 &= h_8 \alpha_{3i} \\ i_4 &= h_8 \alpha_{4i} \\ i_5 &= h_8 \alpha_{5i} \\ i_6 &= \sum_{i=1}^{106} C_i \sin Z_i \\ i_7 &= h_9 \alpha_{1i} \\ i_8 &= h_9 \alpha_{2i} \\ i_9 &= h_9 \alpha_{3i} \end{aligned} \quad (2-51)$$

$$i_{10} = h_9 \alpha_{4i}$$

$$i_{11} = h_9 \alpha_{5i}$$

$$i_{12} = \sum_{i=1}^{106} F_i \cos Z_i$$

$$h_8 = \sum_{i=1}^{106} (A_i + C_i T) \cos Z_i K_3$$

$$h_9 = - \sum_{i=1}^{106} (D_i + F_i T) \sin Z_i K_3$$

$$Z_i = \alpha_{1i} \ell + \alpha_{2i} \ell' + \alpha_{3i} F + \alpha_{4i} D + \alpha_{5i} \Omega$$

Substituint (2-50) a (2-48) i reagrupant termes, tenim:

$$\begin{aligned} \Delta\sigma = & g_1 \Delta a + g_2 \Delta e + g_3 \Delta i + i_{13} \Delta\Omega + g_5 \Delta\omega + i_{14} \Delta\ell + h_6 \Delta\epsilon - d_5 \Delta\lambda_c + \\ & + b_4 \Delta\alpha' + b_5 \Delta\delta' + d_4 \Delta\varnothing_g + h_7 \Delta TU1 - a_6 \Delta\sigma_w + i_{15} \Delta\ell' + i_{16} \Delta F + \\ & + i_{17} \Delta D + i_{18} \Delta T + g_7 \Delta\alpha' \end{aligned} \quad (2-52)$$

on:

$$i_{13} = g_4 + h_5 i_5 + h_6 i_{11}$$

$$i_{14} = g_6 + h_5 i_1 + h_6 i_7$$

$$i_{15} = h_5 i_2 + h_6 i_8$$

$$i_{16} = h_5 i_3 + h_6 i_9$$

$$i_{17} = h_5 i_4 + h_6 i_{10}$$

$$i_{18} = h_5 i_6 + h_6 i_{12}$$

(2-53)

2.6. ANALISI DE CADA VARIABLE

Els termes Ω , ω , ℓ , ϵ i α' poden calcular-se a partir d'expressions

com:

$$\begin{aligned}
 \Omega &= \Omega_0 + \Omega_1 T + \Omega_2 T^2 + \Omega_3 T^3 \\
 \omega &= \omega_0 + \omega_1 T + \omega_2 T^2 + \omega_3 T^3 \\
 \ell &= \ell_0 + \ell_1 T + \ell_2 T^2 + \ell_3 T^3 \\
 \epsilon_0 &= \epsilon'_0 + \epsilon_1 T + \epsilon_2 T^2 + \epsilon_3 T^3 \\
 \alpha'_0 &= E_0 + E_1 T + E_2 T^2 + E_3 T^3
 \end{aligned}$$

Derivant aquestes equacions:

$$\begin{aligned}
 \Delta\Omega &= \Delta\Omega_0 + T \Delta\Omega_1 + T^2 \Delta\Omega_2 + T^3 \Delta\Omega_3 + (\Omega_1 + 2\Omega_2 T + 3\Omega_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\omega &= \Delta\omega_0 + T \Delta\omega_1 + T^2 \Delta\omega_2 + T^3 \Delta\omega_3 + (\omega_1 + 2\omega_2 T + 3\omega_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\ell &= \Delta\ell_0 + T \Delta\ell_1 + T^2 \Delta\ell_2 + T^3 \Delta\ell_3 + (\ell_1 + 2\ell_2 T + 3\ell_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\epsilon_0 &= \Delta\epsilon'_0 + T \Delta\epsilon_1 + T^2 \Delta\epsilon_2 + T^3 \Delta\epsilon_3 + (\epsilon_1 + 2\epsilon_2 T + 3\epsilon_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\alpha'_0 &= \Delta E_0 + T \Delta E_1 + T^2 \Delta E_2 + T^3 \Delta E_3 + (E_1 + 2E_2 T + 3E_3 T^2) \Delta T
 \end{aligned}$$

Ara bé, mitjançant reducció d'ocultacions d'estrelles per la Lluna per al període de què disposem, les correccions quadràtiques i cúbiques amb el temps, no poden calcular-se i per tant, les expressions anteriors les reduïm a:

$$\begin{aligned}
 \Delta\Omega &= \Delta\Omega_0 + T \Delta\Omega_1 + (\Omega_1 + 2\Omega_2 T + 3\Omega_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\omega &= \Delta\omega_0 + T \Delta\omega_1 + (\omega_1 + 2\omega_2 T + 3\omega_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\ell &= \Delta\ell_0 + T \Delta\ell_1 + (\ell_1 + 2\ell_2 T + 3\ell_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\epsilon_0 &= \Delta\epsilon'_0 + T \Delta\epsilon_1 + (\epsilon_1 + 2\epsilon_2 T + 3\epsilon_3 T^2) \Delta T \\
 \Delta\alpha'_0 &= \Delta E_0 + T \Delta E_1
 \end{aligned} \tag{2-54}$$

En aquesta darrera expressió de $\Delta\alpha'_0$, no es considera el terme en ΔT , perquè no es coneixen els valors de E_1 , E_2 i E_3 .

Substituint aquests valors a l'equació (2-52) i reagrupant termes:

$$\begin{aligned}
\Delta\sigma = & g_1 \Delta a + g_2 \Delta e + g_3 \Delta i + i_{13} \Delta\Omega_0 + j_1 \Delta\Omega_1 + g_5 \Delta\omega_0 + j_2 \Delta\omega_1 + \\
& + i_{14} \Delta\ell_0 + j_3 \Delta\ell_1 + h_6 \Delta\epsilon'_0 + j_4 \Delta\epsilon_1 - d_5 \Delta\lambda_c + d_4 \Delta\varnothing_g + b_4 \Delta\alpha' + \\
& + b_5 \Delta\delta' + h_7 \Delta TU1 - a_6 \Delta\sigma_w + i_{15} \Delta\ell' + i_{16} \Delta F + i_{17} \Delta D + j_5 \Delta T + \\
& + g_7 \Delta E_0 + j_6 \Delta E_1
\end{aligned}
\tag{2-55}$$

sent:

$$\begin{aligned}
j_1 &= i_{13} T \\
j_2 &= g_5 T \\
j_3 &= i_{14} T \\
j_4 &= h_6 T \\
j_5 &= (i_{18} + i_{13} (\Omega_1 + 2\Omega_2 T + 3\Omega_3 T^2) + g_5 (\omega_1 + 2\omega_2 T + 3\omega_3 T^2) + \\
& + i_{14} (\ell_1 + 2\ell_2 T + 3\ell_3 T^2) + h_6 (\epsilon_1 + 2\epsilon_2 T + 3\epsilon_3 T^2)) / \\
& / (24 \cdot 36525 \cdot 3600) \\
j_6 &= g_7 T
\end{aligned}
\tag{2-56}$$

Donada l'equació (2-55), considerem cada una de les incògnites.

$\Delta a, \Delta e, \Delta i, \Delta\Omega_0, \Delta\Omega_1, \Delta\omega_0, \Delta\omega_1, \Delta\ell_0$ i $\Delta\ell_1$ corresponen a correccions als valors adoptats a les efemèrides DE200/LE200.

En el treball de Rosselló i Català (1981) es trobava que les coordenades dels observatoris més importants (amb més nombre d'observacions), estan molt ben determinades. Per altra banda, considerem que els possibles errors de coordenades de la resta d'observatoris no introduiran una diferència sistemàtica als residus. Per aquestes raons, prenem $\Delta\varnothing_g = \Delta\lambda_c = 0$.

En el treball de Jordi (1982) estudiant les cartes de Watts mitjançant observacions fotoelèctriques d'estrelles per la Lluna, es considera la desviació $\Delta\sigma_w$ en funció d'un error al radi de Watts, un altre a la localització del centre del datum respecte del centre definit per les efemèrides en ús, i un altre degut a l'el·lipticitat del datum construït. La

correcció és de la forma:

$$\begin{aligned} \Delta \alpha_w &= \Delta x_w + \cos \Pi \cos R_1 \Delta r_1 + \sin \Pi \sin R_1 \Delta r_1 + \cos 2\Pi \cos 2R_2 \Delta r_2 + \\ &+ \sin 2\Pi \sin 2R_2 \Delta r_2 = \\ &= \Delta x_w + \cos (\Pi - R_1) \Delta r_1 + \cos 2(\Pi - R_2) \Delta r_2 \end{aligned} \quad (2-57)$$

Si definim:

$$\begin{aligned} \Delta x &= \cos R_1 \Delta r_1 \\ \Delta y &= \sin R_1 \Delta r_1 \\ \Delta u &= \cos 2R_2 \Delta r_2 \\ \Delta v &= \sin 2R_2 \Delta r_2 \end{aligned} \quad (2-58)$$

l'expressió anterior pot escriure's com:

$$\Delta \alpha_w = \Delta x_w + \cos \Pi \Delta x + \sin \Pi \Delta y + \cos 2\Pi \Delta u + \sin 2\Pi \Delta v \quad (2-59)$$

Els coeficients i_{15} , i_{16} , i_{17} són molt petits i les correccions que s'obtidran per a $\Delta \alpha'$, ΔF i ΔD tindran errors molt elevats. No considerem, doncs, aquestes incògnites a l'equació final.

Per estudiar correccions a cada una de les estrelles, caldria fer reduccions agrupant totes les ocultacions de l'estrella en estudi. Nosaltres considerem que no hi ha errors sistemàtics a les posicions catalogades i, per tant, prenen $\Delta \alpha' = \Delta \delta' = 0$.

Les correccions ΔE_o , ΔE_1 , $\Delta \epsilon_o$ i $\Delta \epsilon_1$ representen les desviacions de l'equinocci i equador FK5 respecte dels dinàmics.

Ens manca analitzar $\Delta TU1$ i ΔT . $\Delta TU1$ pot considerar-se com una correcció

$$\Delta TU1 = \Delta TU + \Delta DTU1$$

i podem prendre $\Delta DTU=0$. L'error ΔTU vindrà donada per l'equació personal de l'observador.

Per altra banda, ΔT representa un error al Temps Dinàmic Baricèntric, i per tant, $\Delta T = \Delta TU + \Delta(TDB-TU)$. ΔTU és ocasionat per l'equació personal, i $\Delta(TDB-TU)$ correspon a una correcció a la diferència entre les escales de Temps Universal i Temps Dinàmic Baricèntric. Per analogia de nomenclatura amb d'altres autors a TDB-TU l'anomenarem a partir d'ara ΔT .

L'equació (2-55) serà de la forma:

$$\begin{aligned} \Delta \sigma = & g_1 \Delta a + g_2 \Delta e + g_3 \Delta i + i_{13} \Delta \Omega_o + j_1 \Delta \Omega_1 + g_5 \Delta \omega_o + j_2 \Delta \omega_1 + \\ & + i_{14} \Delta \ell_o + j_3 \Delta \ell_1 + h_6 \Delta \epsilon'_o + j_4 \Delta \epsilon_1 + g_7 \Delta E_o + j_6 \Delta E_1 - a_6 \Delta r_w + \\ & + j_7 \Delta x + j_8 \Delta y + j_9 \Delta u + j_{10} \Delta v + j_{11} \Delta TU + j_5 \Delta(\Delta T) \end{aligned} \quad (2-60)$$

sent:

$$\begin{aligned} j_7 &= -a_6 \cos \Pi \\ j_8 &= -a_6 \sin \Pi \\ j_9 &= -a_6 \cos 2\Pi \\ j_{10} &= -a_6 \sin 2\Pi \\ j_{11} &= h_7 + j_5 \end{aligned} \quad (2-61)$$

2.7. EQUACIÓ FINAL

Al moment de l'ocultació, σ_o és nul·la i, llavors, el residu $\Delta \sigma_o$, d'acord amb (2-1), es transforma en:

$$\Delta \sigma_{ocul} = -\sigma_o$$

A partir de l'1/7/1955 en què es va definir l'escala TAI, es coneix

la relació entre el Temps Dinàmic i el Temps Universal, per tant, ΔT no és una incògnita a determinar. El valor conegut de ΔT l'hem considerat alhora de calcular les posicions de Lluna i estrella per a les observacions posteriors en aquesta època. Prenem el valor aplicat com a correcte i llavors, l'equació observació-càlcul que considerem és:

$$\begin{aligned}
 -\sigma_c = & g_1 \Delta a + g_2 \Delta e + g_3 \Delta i + i_{13} \Delta \Omega_o + j_1 \Delta \Omega_1 + g_5 \Delta \omega_o + j_2 \Delta \omega_1 + \\
 & + i_{14} \Delta \ell_o + j_3 \Delta \ell_1 + h_6 \Delta \epsilon'_o + j_4 \Delta \epsilon_1 + g_7 \Delta E_o + j_6 \Delta E_1 - a_6 \Delta r_w + \\
 & + j_7 \Delta x + j_8 \Delta y + j_9 \Delta u + j_{10} \Delta v + j_{11} \Delta TU
 \end{aligned}
 \tag{2-62}$$

Per a les observacions anteriors a 1955.5, no hem aplicat cap valor ΔT a la reducció, per tant el valor $\Delta(\Delta T)$ diferència entre el valor real i el valor aplicat, es converteix realment en la diferència ΔT entre les dues escales de temps. L'equació que considerem és doncs:

$$\begin{aligned}
 -\sigma_c = & g_1 \Delta a + g_2 \Delta e + g_3 \Delta i + i_{13} \Delta \Omega_o + j_1 \Delta \Omega_1 + g_5 \Delta \omega_o + j_2 \Delta \omega_1 + \\
 & + i_{14} \Delta \ell_o + j_3 \Delta \ell_1 + h_6 \Delta \epsilon'_o + j_4 \Delta \epsilon_1 + g_7 \Delta E_o + j_6 \Delta E_1 - a_6 \Delta r_w + \\
 & + j_7 \Delta x + j_8 \Delta y + j_9 \Delta u + j_{10} \Delta v + j_{11} \Delta TU + j_5 \Delta T
 \end{aligned}
 \tag{2-63}$$

3. OBSERVACIONS: ANALISI, TRACTAMENT I RESULTATS

En aquest capítol analitzem les dades a la nostra disposició i descrivim el procés seguit per elaborar el fitxer d'ocultacions, considerant la informació facilitada pels observadors, les coordenades estel·lars i geodèsiques, les posicions aparents i el residu de l'ocultació. Fem una anàlisi dels residus obtinguts i descrivim el procés de resolució de l'equació de condició i els valors obtinguts per a cada una de les correccions estudiades.

3.1. ANALISI D'OBSERVACIONS

Les observacions d'ocultacions d'estrelles per la Lluna utilitzades en aquest treball, ens han estat proporcionades per L.V. Morrison del Royal Greenwich Observatory. Aquest centre va ser, fins el 1980, l'encarregat de recollir aquest tipus d'observacions. Corresponen als catàlegs publicats per Morrison et al (1982), Morrison (1978) i Appleby et al (1982).

Disposem d'un total de 169118 ocultacions entre 1623 i 1980, de les quals 635 foren observades entre 1623 i 1799, 54564 entre 1800 i 1955.5 i les 113919 restants, entre 1955.5 i 1980. La distribució per anys dels dos darrers grups es mostra a les figures 1 i 2 (full 47), respectivament.

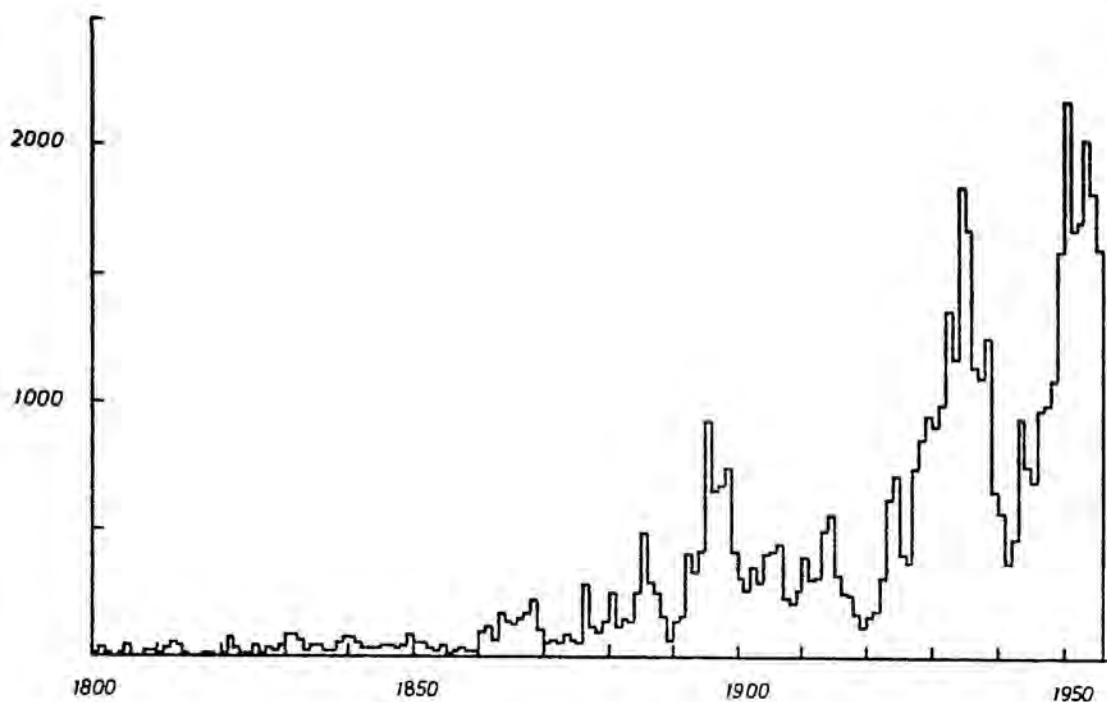


Figura 1. Distribució per anys de les ocultacions observades entre 1800 i 1955.5.

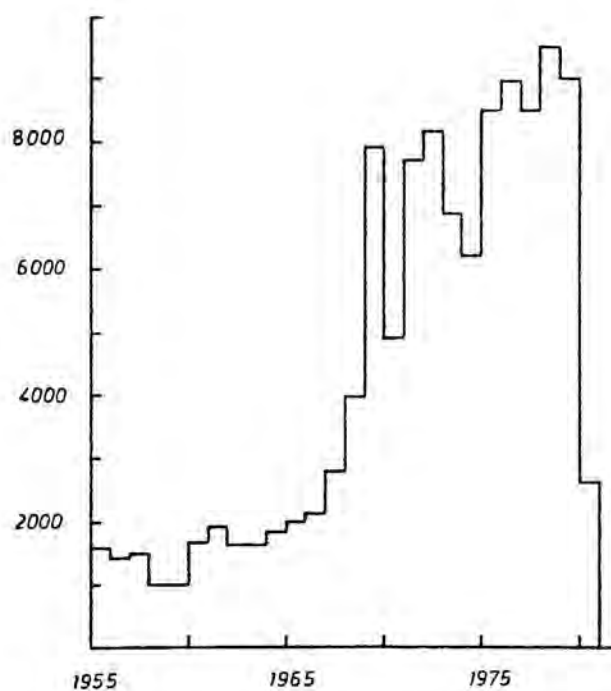


Figura 2. Distribució per anys de les ocultacions observades entre 1955.5 i 1980.

El temps enregistrat d'una ocultació està referit a diferents escales de temps universal segons l'època. Podem distingir tres períodes principals:

a) Abans de l'1/1/1956. Fins aquesta data els senyals horaris es basaven en rellotges de cristall de quars, la velocitat del quals es controlava per tal que s'ajustés a l'escala de temps universal deduïda de les observacions astronòmiques en períodes de poques nits. Aquest temps universal s'anomena TU0. Al 1947, alguns observatoris comencen a corregir l'efecte del moviment del pol terrestre, fent referència al temps universal TU1. Aquest canvi, però, fou introduït per pocs observatoris, mentre que la majoria continuaven donant els seus valors respecte de l'escala TU0. La tasca d'identificar quins observatoris han utilitzat TU0 i quins han utilitzat TU1 és quasi impracticable, i per altra banda, la màxima diferència entre les dues escales pot ser de $0^{\text{m}}03 \tan \varphi$, sent φ la latitud de l'observador. Per aquests dos motius, i tenint en compte que l'escala TU1 la van introduir pocs observatoris, decidim tractar totes les observacions d'aquest període com si fossin referides a l'escala TU0.

b) Del 1956 al 1960. Al voltant del 1956 s'introdueixen estàndards atòmics als monitors de velocitats de rellotges de quars. Donada l'estabilitat dels estàndards atòmics, la seva velocitat pot ajustar-se considerant llargs períodes, i es va considerar avantatjós amitjar la velocitat de rotació de la Terra utilitzant períodes que inclouen les fluctuacions estacionals. Aquesta nova escala de temps constitueix l'escala TU2. La diferència amb l'escala TU1 (Instituto y Observatorio de la Marina, 1984) ve donada per:

$$\begin{aligned} \text{TU2} - \text{TU1} = & 0^{\text{m}}0220 \sin 2\pi t - 0^{\text{m}}0120 \cos 2\pi t - 0^{\text{m}}0060 \sin 4\pi t + \\ & + 0^{\text{m}}0070 \cos 4\pi t \quad \quad \quad (t \text{ en segles besseliàns}) \end{aligned}$$

c) Del 1961 al 1980. El 1961 alguns dels serveis nacionals del temps, van decidir coordinar els seus senyals horaris, donant lloc a l'escala TUC (temps universal coordinat), i a partir de llavors, els observadors enregistren l'època de l'ocultació en aquesta nova escala. L'establiment de l'escala TUC es basa en:

- la seva diferència amb el TAI és un nombre exacte de segons
- la seva diferència amb el TU1 és sempre menor de 0.9 segons

El Bureau Internacional de l'Heure publica periòdicament aquestes diferències (Bureau Internacioan de l'Heure, 1978).

Per a cada una de les observacions, a més de l'època i observatori en què s'ha fet i la identificació de l'estrella, es donen com a informació, un seguit de característiques com poden ser: mètode de mesura del temps, condicions del cel, tipus de fenomen, etc.

El nombre i el tipus d'observacions tenen una forta correlació amb l'elongació de la Lluna. Per una banda, a la primera meitat de la llunació, les observacions són molt freqüents i es donen les immersions per limbe fosc i les emersions per limbe clar. A la segona meitat, el nombre d'observacions es redueix de forma considerable. En aquest cas poden donar-se emersions per limbe fosc i immersions per limbe clar. Les observacions per limbe clar són difícils d'observar i no s'obtenen amb les mateixes precisions que les que es veuen per limbe fosc. Això és degut al fenomen de la irradiació que fa que el limbe clar sigui aparentment més gran, de manera que el moment real de l'ocultació no és observable. En molt bones condicions de cel i per observadors molt experts, poden fer-se ocultacions d'estrelles molt lluents. Per altra banda, és més fàcil observar immersions que emersions.

A la taula 2 (full 50) mostrem el nombre d'observacions segons el

fenomen, i a la figura 3 (full 50) la distribució en funció de l'elongació.

	1600-1799	1800-1955.5	1955.5-1980
Immersions per limbe fosc	317	37383	84053
Emerisions per limbe fosc	131	10188	25996
Immersions per limbe clar	123	4290	2061
Emerisions per limbe clar	64	2693	1589
immersió(rasant)	--	--	64
emersió(rasant)	--	--	47
No s'especifica	--	9	109

Taula 2. Distribució d'observacions per fenomen.

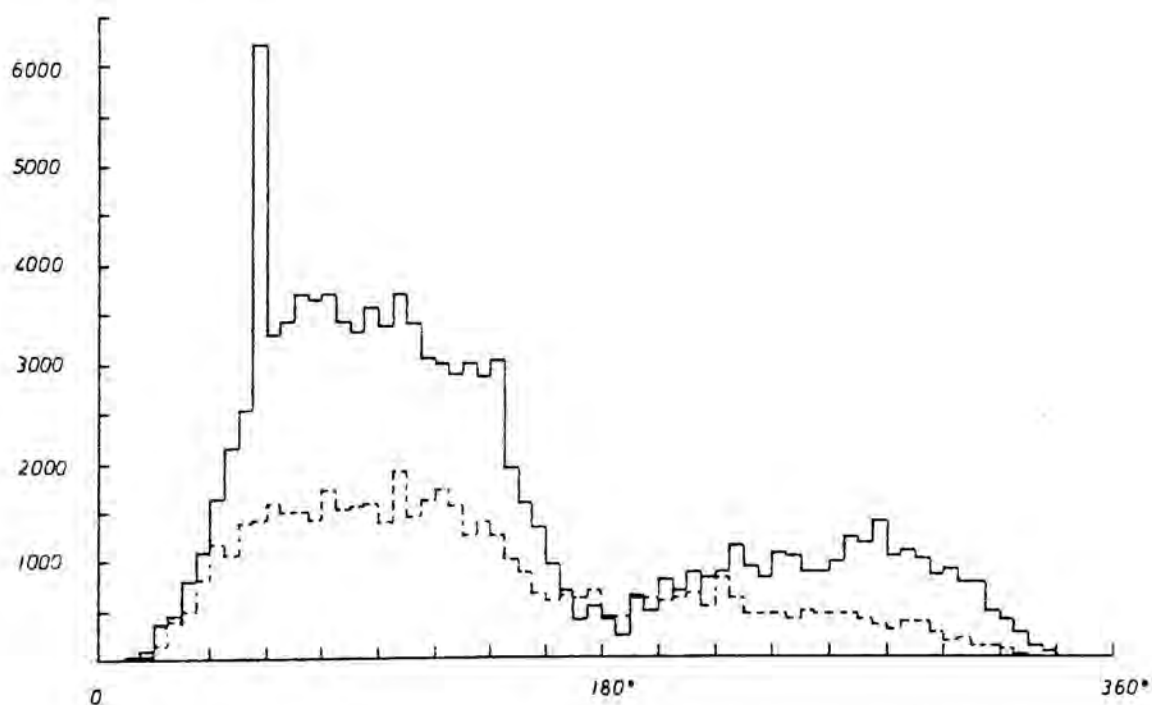


Figura 3. Distribució d'observacions en funció de l'elongació de la Lluna. La línia discontinua correspon a les observacions del període 1800-1955.5 i la línia contínua a les del 1955.5-1980.

El marcat pic al voltant dels $60''$ d'elongació correspon a la gran quantitat d'observacions fetes entre el març del 1969 i el març del 1972 a les Plèiades.

Aproximadament un 95% de les observacions es fan visualment amb telescopis de poca obertura. D'aquestes, un 10% estan fetes per astrònoms professionals, i la resta per afeccionats (Van Flandern, 1971).

Hi ha moltes formes de mesurar l'instant en què es produeix l'ocultació, però poden agrupar-se en tres categories:

a) La més emprada és posar en marxa un rellotge al moment en què es produeix la immersió o l'emersió de l'estrella. Al cap d'una poca estona, s'atura aquest rellotge a un instant conegut, i el temps que ha transcorregut es resta del moment en què hem aturat el rellotge, per conèixer exactament l'instant de l'ocultació. Aquest mètode l'anomenarem "aturar el rellotge".

b) Un altre mètode igualment popular és el que es base en "veure i escoltar". En aquest mètode l'observador ha d'estimar en quin moment l'estrella apareix o desapareix respecte d'un senyal horari audible. En aquest cas s'aconsegueixen precisions més grans que en l'anterior.

c) Cap al 1950 alguns observatoris van equipar els seus telescopis amb aparells fotoelèctrics. Les observacions fetes per aquest mitjà poden arribar a tenir precisions de 0.001 s.

La distribució de les observacions en funció del mètode emprat per a la mesura del temps la donem a la taula 3 (full 52). Com pot veure's, per al període 1800-1955.5, la majoria d'observacions o es van fer pel mètode de "veure i escoltar" o no s'especifica el mètode emprat. Per altra banda,

per al període 1955.5-1980 les observacions es centren als mètodes "aturar el rellotge" i "cronògraf", que tenen tots dos la mateixa base.

	1600-1799	1800-1955.5	1955.5-1980
fotoelèctriques	-	270	7499
veure i escoltar	-	19090	8525
cronògraf	-	2723	11309
aturar el rellotge	-	4406	58841
aturar el rellotge(telèfon)	-	123	8070
cambrà i rellotge	-	-	104
veure i escoltar(sideri)	-	3722	3004
cronògraf (sideri)	-	1397	839
gravació cinta	-	208	8106
no s'especifica	635	22625	7622

Taula 3. Distribució d'observacions segons mètode per mesurar el temps de l'ocultació.

Els mètodes d'observació visual, en especial el descrit a l'apartat a), requereixen una reacció física de l'observador que varia segons algunes circumstàncies com poden ser les condicions del cel, la magnitud de l'estrella, si és immersió o emersió i si es tracta de limbe fosc o clar. L'observador estima la seva equació personal (o temps de reacció) per a cada una de les observacions.

En el cas de les observacions que tractem, n'hi ha que l'observador ha estimat aquesta equació personal i ja la corregeix, (pot o no donar a conèixer el valor aplicat), i d'altres en què no considera cap tipus d'equació personal.

La distribució de les observacions segons si s'ha indicat o no equació personal, la mostrem a la taula 4 (full 53).

	1600-1799	1800-1955.5	1955.5-1980
s'aplica un valor conegut	-	238	49693
s'aplica un valor desconegut	-	1495	9478
no s'aplica equació personal	635	52831	54748

Taula 4. Distribució d'observacions segons les dades facilitades per l'observador, respecte de l'equació personal.

Alguns observadors estimen les condicions en què han realitzat l'observació d'una forma descriptiva.

A les taules 5 (full 53) i 6 (full 54) mostrem la distribució de les observacions segons els paràmetres de condicions del cel i exactitud.

	1600-1799	1800-1955.5	1955.5-1980
clar	-	420	28096
boira, núvols tènues	-	526	8231
amb núvols	-	570	2097
condicions difícils	-	625	3588
gradual, no instantània	-	345	1159
limbe fosc visible	-	384	7538
visió dolenta	-	11	337
en un eclipsi	-	897	660
no s'especifica	635	50786	62213

Taula 5. Distribució d'observacions segons les condicions assignades pels observadors.

	1600-1799	1800-1955.5	1955.5-1980
excel.lent, molt bona	-	4213	39807
bona	-	5019	22143
satisfactòria	-	1980	7631
dolenta, incerta	-	799	2510
molt dolenta, dubtosa	-	776	2172
estrella dèbil	-	170	762
potser aprop	-	24	141
potser lluny	-	231	678
incerta en dècimes de segon	-	90	306
no s'especifica	635	41262	37769

Taula 6. Distribució d'observacions segons l'exactitud estimada per l'observador.

La valoració per part dels observadors d'aquests dos darrers criteris és totalment subjectiva. Cal fer notar la poca informació respecte de les corresponents al període 1800-1955.5.

Cada un dels observatoris que han fet alguna de les 169118 observacions té assignat un número. A l'apèndix I mostrem els nombre d'ocultacions observades en cada un d'aquests observatoris.

3.2. FITXER D'OCULTACIONS I RESIDUS

Per facilitar el tractament del gran volum de dades utilitzades en aquest treball, adaptant-nos a les possibilitats que ens ofereix el Centre de Càlcul de la Universitat de Barcelona pel que fa referència a espai en disc per a la ubicació dels fitxers i temps de CPU, dividim el fitxer d'ocultacions facilitat pel L.V. Morrison, en dues parts, una de

92000 ocultacions (PART1) i l'altra de 77118 (PART2).

Cada un dels registres d'aquests fitxers correspon a una ocultació, i hi ha la corresponent informació de dia i hora de l'ocultació, característiques que estima l'observador, número de l'estrella ocultada en diferents catàlegs, i número de l'observatori i telescopi des d'on s'ha observat.

En fitxer a part (ESTACI), tenim les coordenades geodèsiques de cada telescopi i observatori, als quals se'ls ha assignat un número.

El primer pas, és ajuntar la informació dels fitxers PART1 i PART2 amb la d'ESTACI, obtenint dos nous fitxers (OCUL1 I OCUL2).

Posteriorment, incorporem en aquests fitxers les coordenades estel·lars. El catàleg SAO utilitzat en aquest treball ocupa un espai d'aproximadament 36 Mbytes, mentre que l'espai disponible per a nosaltres és de 16 Mbytes. Seleccionem les estrelles amb possibilitat de ser ocultades i en construïm dos fitxers (SAO1 i SAO2). Elaborem un programa que ajunta la informació referida a l'observació, amb les coordenades i moviments propis de l'estrella. Obtenim dos fitxers resultants, OBSER1 i OBSER2, que contenen 89157 i 79249 registres, respectivament.

En tot aquest procés s'han rebutjat 712 ocultacions per les següents raons:

- 702 sense informació del número SAO
- 4 ja que l'estrella no pot ser ocultada per la Lluna
- 6 sense informació de l'època de l'ocultació

Per al càlcul de les posicions aparents, hem de tractar amb la cinta que conté les efemèrides DE200/LE200. Aquesta cinta ens ha estat facilitada per l'A. Salazar de l'Observatorio de la Marina de San Fernando. Cobreix de l'any 1800 al 2050 i està dividida també en dues parts, EFEME1 i EFEME2.

Tractant els fitxers EFEME1 i EFEME2 com a fitxers directes, i seguint la teoria descrita al capítol 1, elaborem el programa APAREN per al càlcul de posicions aparents de qualsevol astre i de qualsevol estrella. Particularitzem per al cas de la Lluna i, construïm dos nous fitxers APARE1 i APARE2, als quals, a més de la informació dels fitxers OBSER1 i OBSER2, hi ha contingudes les coordenades aparents geocèntriques de l'estrella i la Lluna per a cada ocultació.

En aquest procés s'han eliminat 956 ocultacions, unes per ser anteriors a la data d'inici de les efemèrides, i les altres perquè ens ha estat impossible conèixer-les, degut a un problema de gravació de la cinta.

Els fitxers APARE1 (54493 ocultacions) i APARE2 (112957 ocultacions) s'han construït de manera que el primer conté les observacions anteriors al 1955.5 i el segon les posteriors a aquesta data, per facilitar el tractament posterior independent dels residus i la resolució separada de l'equació observació-càlcul.

Elaborem un programa que calcula les posicions aparents topocèntriques de la Lluna, la distància angular estrella-Lluna, el semidiàmetre topocèntric, la correcció per refracció i les libracions topocèntriques, necessàries per trobar la correcció de limbe lunar. Del fitxer APARE2 eliminem aquelles observacions per a les quals la separació angular resultant (abans d'aplicar correccions per limbe lunar) és superior a $30^{\circ}.0$ (1699 ocultacions) i del fitxer APARE1 les que tenen una separació angular superior a $500^{\circ}.0$ (847 observacions). Aquests valors de $30^{\circ}.0$ i $500^{\circ}.0$ són un límit per eliminar les observacions clarament errònies (errors al número de l'estrella, la data o el lloc de l'observació).

A. Salazar de l'Observatorio de la Marina de San Fernando ens ha facilitat una versió digititzada de les cartes de Watts (1963), així com el programa per a la seva interpolació. Adaptem el programa a l'ordinador de la Universitat de Barcelona, traduïm tota la informació de les cartes

i directori de codi ASCII a EBCDIC, i calculem les correccions de limbe lunar per als nostres dos fitxers d'ocultacions.

Construïm el fitxer definitiu a partir de tota la informació obtinguda: dades originals de l'observació, coordenades geodèsiques de l'observatori, posició SAO de l'estrella, posicions aparents de la Lluna i l'estrella, posició topocèntrica de la Lluna, distància topocèntrica estrella-Lluna, correcció de Watts, separació angular estrella-limbe lunar. Rebutgem, lògicament, aquelles observacions per a les quals no hi ha valor a les cartes de Watts (3001 en el cas de les anteriors al 1955.5 i 8026 pel que fa referència a les posteriors a aquesta data), i obtenim finalment dos fitxers REDUC1 i REDUC2 amb 50645 i 103232 ocultacions respectivament.

En dos fitxers a part, s'han enregistrat els valors dels coeficients de l'equació de condició corresponents a cada ocultació, calculats tal com es descriu al capítol 2. Els dos fitxers (COEF1 i COEF2) construïts a partir de REDUC1 i REDUC2, són lleugerament diferents pel que fa al seu contingut.

El fitxer COEF2 conté el residu de l'observació, els 19 coeficients de l'equació de condició i l'indicador del mètode de temps utilitzat a l'observació.

El fitxer COEF1, a més de la informació anterior, conté el coeficient corresponent a ΔT i el dia julià de l'observació.

3.3. ANALISI DE RESIDUS

La distribució dels residus de les ocultacions posteriors al 1955.5 (fitxer REDUC2), tals que $|\Delta c| \leq 3.0$ la mostrem a la figura 4 (full 58). La mitjana de la distribució és de -0.16 i la dispersió dels valors de 0.60.

La mitjana de les ocultacions observades fotoelèctricament és de $-0.19''$. La diferència entre ambdues mitjanes és possiblement deguda a l'error d'equació personal. Donat, però, que la mitjana de les observacions fotoelèctriques no és nul·la, ens cal esperar una desviació entre els equinoccis FK5 i dinàmic. A les ocultacions fotoelèctriques estudiades per Rosselló (1982), utilitzant les efemèrides $j=2$ i el sistema FK4, observava una desviació de la mitjana i obtenia una correcció d'equinocci. Rosselló i Jordi (1982) corregien l'equinocci i la desviació en la mitjana desapareixia.

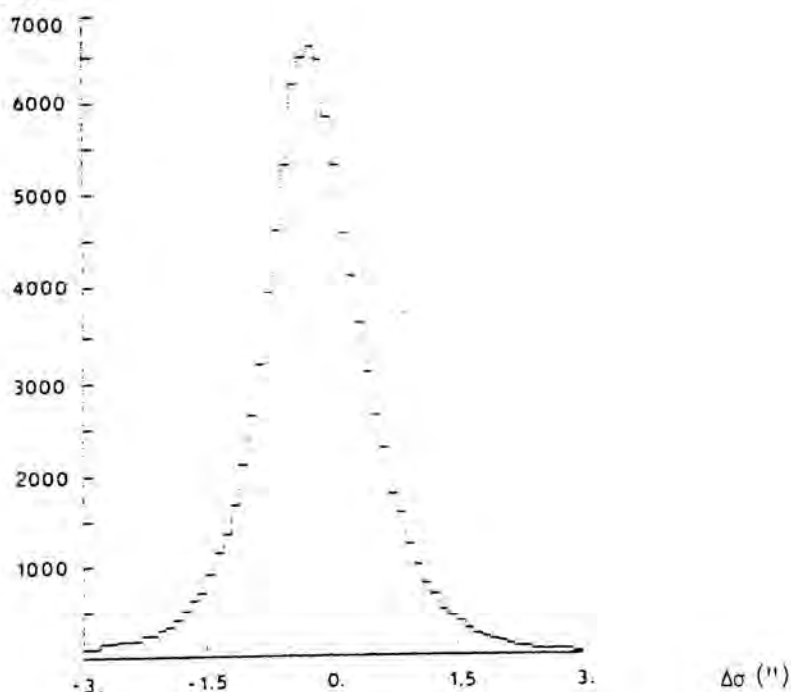
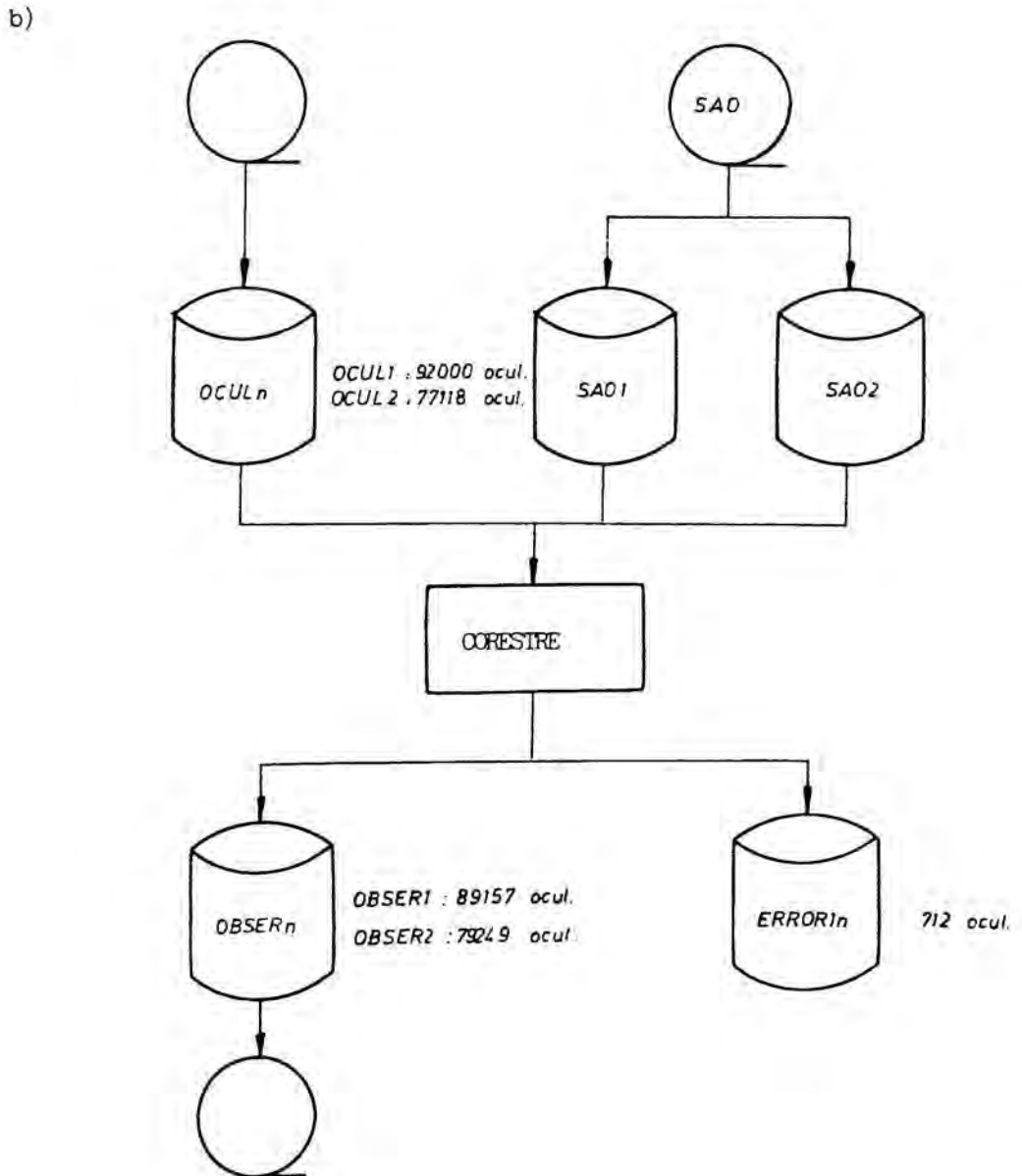
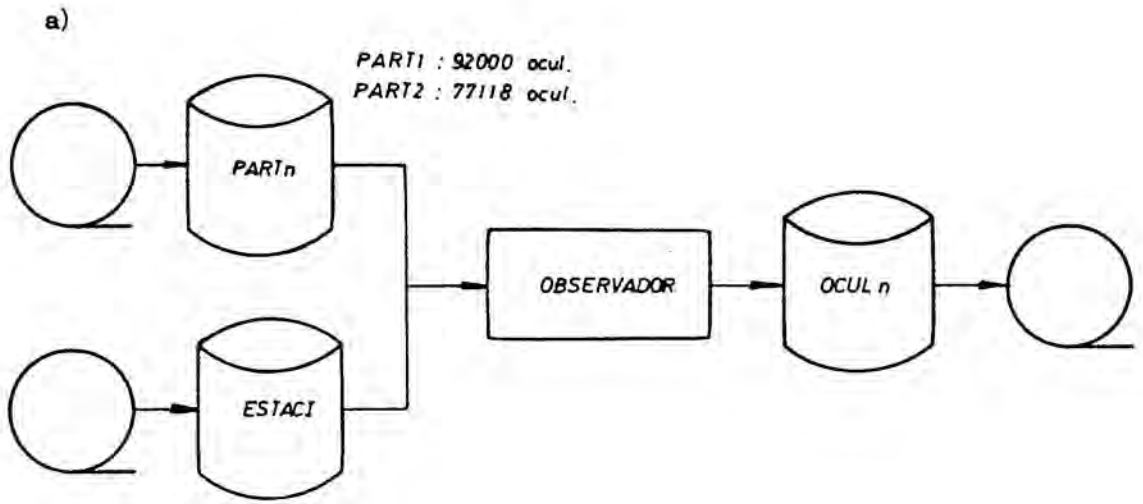


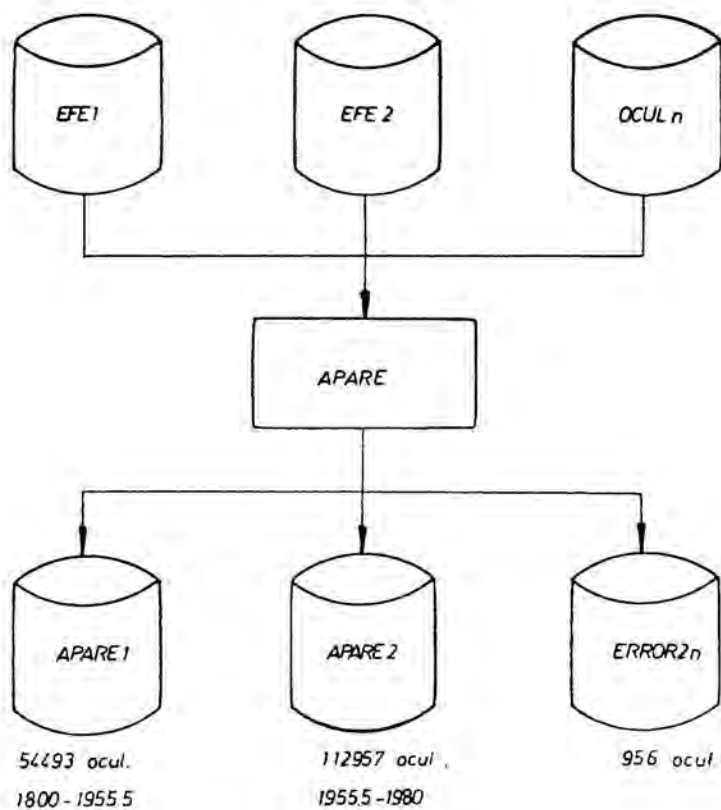
Figura 4. Distribució de residus de les ocultacions corresponents al període 1955.5-1980. La mitjana de les mesures és $-0.16''$ i la desviació $0.06''$

Per a la resolució de l'equació observació-càlcul per mínims quadrats, seleccionem aquelles observacions per a les quals $|\Delta\sigma| < 1.5''$ que correspon a rebutjar els valors que s'aparten 2.5 cops la desviació estàndard.

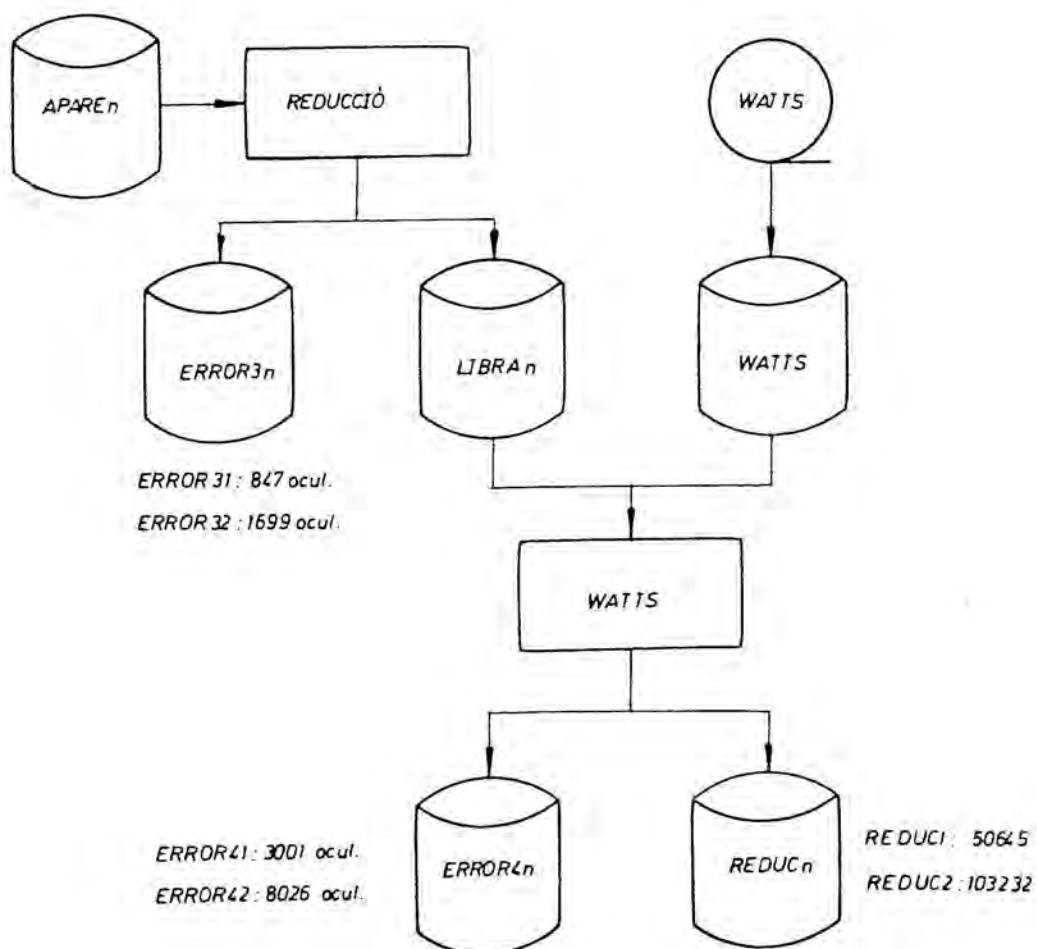
La figura 5 (fulls 59-61) mostra l'esquema dels principals fitxers i programes construïts o utilitzats en aquest treball.



c)



d)



e)



COEF 1 : 50645 ocul.

COEF 2 : 103232 ocul.

Figura 5. Esquema dels principals programes desenvolupats en aquest treball i dels fitxers utilitzats i/o construïts: a) incorporació al fitxer d'ocultacions de les dades de l'observatori, b) inclusió de les coordenades SAO de les estrelles ocultades, c) càlcul de posicions aparents de Lluna i estrelles, d) reducció i càlcul de residus $\Delta\sigma$, e) construcció del fitxer de coeficients de l'equació observació-càlcul.

3.4. RESOLUCIÓ DE L'EQUACIÓ DE CONDICIÓ

Hem tractat per separat els dos grups d'observacions que comprenen els períodes 1800-1955.5 i 1955.5-1980, cadascun amb la seva equació de condició.

En anteriors anàlisis d'ocultacions (Morrison, 1979a i Rosselló, 1982), s'ha vist que algunes de les incògnites de l'equació (2-60) tenen una forta correlació amb l'equació personal.

Això ens ha fet encaminar la resolució en tres vies:

- *) equacions personals
- *) correccions a les efemèrides DE200/LE200, sistema de referència FK5 i datum de Watts, i
- *) correccions a l'escala de temps universal.

Per tal de millorar els resultats obtinguts en cada un dels apartats, hem seguit un procés iteratiu, que descrivim en els següents punts.

a) Agrupem les observacions visuals del 1955.5-1980 en funció del mètode utilitzat per l'observador per determinar el temps de l'ocultació. Hem fet 4 grups que inclouen:

- 1) veure i escoltar
- 2) aturar el rellotge
- 3) gravar cinta
- 4) sense especificar el mètode

Resolem per mínims quadrats el sistema d'equacions (2-62) sense considerar el terme $(\partial o / \partial T) \Delta T$, donat que la reducció d'aquestes observacions s'ha fet en Temps Dinàmic. Els valors obtinguts per a cada un dels grups descrits anteriorment és:

<u>mètode</u>	<u>nombre observacions</u>	<u>equació personal (s)</u>
veure i escoltar	9416	-0.015 ± 0.072
aturar el rellotge	63542	-0.233 ± 0.029
gravar cinta	6362	0.115 ± 0.090
sense especificar	6580	-0.322 ± 0.089

prenent aquelles observacions tals que $|\Delta\sigma| < 1.5$.

b) Apliquem els valors d'aquestes equacions personals a les mateixes observacions, i resollem el sistema (2-62) amb el conjunt d'ocultacions del 1955.5-1980 incloent les observades per mètodes fotoelèctrics (92301 ocultacions).

Les correccions obtingudes per a la resta d'incògnites són:

$$\Delta a = (-0.954 \pm 0.343) \text{ km}$$

$$\Delta e = (-4.183 \pm 0.827) \text{ km/UA}$$

$$\Delta i = 0.097 \pm 0.003$$

$$\Delta \Omega = (-2.456 \pm 0.591) + (4.112 \pm 0.817) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \omega = (1.650 \pm 0.364) + (-1.008 \pm 0.880) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \ell = (-1.064 \pm 0.223) + (-2.940 \pm 0.341) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \alpha'_{\circ} = (0.051 \pm 0.010) + (-1.004 \pm 0.197) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \epsilon'_{\circ} = (-0.053 \pm 0.003) + (-0.219 \pm 0.051) (T' - 19.715)$$

$$\Delta x_w = 0.058 \pm 0.002$$

$$\Delta x = -0.168 \pm 0.004$$

$$\Delta y = 2.189 \pm 0.450$$

$$\Delta u = -0.007 \pm 0.002$$

$$\Delta v = 0.086 \pm 0.002$$

Cal fer notar que les correccions lineals amb el temps són molt elevades, així com els seus errors. El període de temps (24.5 anys) que cobreixen aquestes observacions, no permet, però, determinar un valor més correctes.

Les incògnites que presenten una correlació més elevada són $\Delta\Omega$, $\Delta\omega$, $\Delta\lambda$ i $\Delta\gamma$, entre elles.

c) Les observacions anteriors al 1955.5 a més d'estar afectades pels errors d'equació personal, efemèrides, sistema de referència i datum de Watts, contenen les diferències entre les escales de temps (en la reducció hem considerat TD=TU). Corregim els residus amb els valors obtinguts als passos anteriors, i si el residu no és nul, serà per la diferència ΔT . L'equació de condició té només una incògnita que pot solucionar-se com:

$$-\sigma_c - \sum_{i=1}^{18} \frac{\partial\sigma}{\partial x_i} \Delta x_i - \frac{\partial\sigma}{\partial TU} \Delta TU = \frac{\partial\sigma}{\partial T} \Delta T$$

on Δx_i és cada una de les incògnites calculades al pas b), i ΔTU és el valor de l'equació personal que depèn del mètode utilitzat per l'observador, segons hem vist al pas a). Per a les observacions fetes fotoelèctricament, aquest valor ΔTU el prenem nul.

Un cop calculats els valors ΔT per a cada una de les ocultacions es troben les mitjanes anuals $\Delta T'$ i la dispersió dels valors, δ . Els anys es prenen de l'1 de juliol d'un any al 30 de juny del següent, per evitar introduir falses periodicitats ocasionades per la distribució de les observacions dins d'un any (Morrison, 1979b).

Per tal d'eliminar les ocultacions errònies, rebutgem aquelles per

a les quals $|\Delta T - \Delta T'| > 1.5\delta$, calculant amb les observacions acceptades una nova mitjana anual $\Delta T'$ i la nova dispersió, δ' .

Per evitar soroll en les dades, fixem una corba als valors $\Delta T'$ obtinguts. L'ajust l'hem fet amb un polinomi quadràtic de la forma:

$$\Delta T_c(t) = a + b t + c t^2 \quad t=-4 \text{ a } 4 \quad (3-1)$$

a un conjunt de nou punts, solucionem el problema per mínims quadrats, i evaluem el valor que pren el polinomi al seu punt central. Per a aquest, $t=0$, $\Delta T_c(0) = a$

La resolució per mínims quadrats de nou equacions amb el mateix pes, dona el següent valor:

$$\Delta T_c(0) = (1/231) \left[59 \Delta T'(0) + 54 (\Delta T'(1) + \Delta T'(-1)) + \right. \\ \left. + 39 (\Delta T'(2) + \Delta T'(-2)) + 14 (\Delta T'(3) + \Delta T'(-3)) - \right. \\ \left. - 21 (\Delta T'(4) + \Delta T'(-4)) \right] \quad (3-2)$$

d) En el pas b) hem determinat les correccions a les efemèrides, sistema FK4 i datum de Watts. Els termes lineals amb el temps són presumiblement els més afectats pel curt període que cobreixen les observacions.

Per tal de millorar els valors obtinguts, corregim les ocultacions anteriors al 1955.5 pel que fa referència a l'escala de temps universal, amb els valors ΔT_c de l'apartat anterior. El nou residu per a aquestes ocultacions serà:

$$\Delta \sigma_1 = -\sigma_c - \frac{\partial \sigma}{\partial T} \Delta T_c$$

i per homogeneitzar criteris amb les observacions posteriors al 1955.5, seleccionem les que tenen $|\Delta \sigma_1| < 1.5$. D'aquesta manera, podem considerar conjuntament totes les observacions perquè, per a totes, les fonts d'error seran les incògnites Δx_i i l'equació personal.

$$\Delta a = (-1.893 \pm 0.270) \text{ km}$$

$$\Delta e = (-1.148 \pm 0.656) \text{ km/UA}$$

$$\Delta i = 0.090 \pm 0.003$$

$$\Delta \Omega = (-4.222 \pm 0.477) + (0.159 \pm 0.114) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \omega = (2.752 \pm 0.294) + (0.977 \pm 0.128) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \ell = (-1.795 \pm 0.180) + (-0.883 \pm 0.057) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \alpha'_0 = (0.046 \pm 0.009) + (-0.278 \pm 0.028) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \epsilon'_0 = (-0.057 \pm 0.003) + (-0.143 \pm 0.009) (T' - 19.715)$$

$$\Delta x_w = 0.055 \pm 0.001$$

$$\Delta x = -0.169 \pm 0.003$$

$$\Delta y = 3.527 \pm 0.363$$

$$\Delta u = -0.018 \pm 0.002$$

$$\Delta v = 0.089 \pm 0.002$$

Comparant aquests valors amb els obtinguts al pas b), assenyalam la millora dels valors dels termes lineals en el temps.

e) La diferència en els termes lineals afecta més, com més llun-

yana sigui l'observació en relació a l'època mitjana considerada (1971.5). Aquest és el cas de les observacions entre el 1800 i el 1955.5. Repetim el pas c) considerant, però, els valors Δx_i trobats al pas d). Obtenim nous valors per a ΔT , $\Delta T'$ i ΔT_c .

f) Podem considerar els darrers valors de ΔT_c obtinguts, com una bona aproximació als valors reals de TD-TU. Apliquem aquests valors a les ocultacions anteriors al 1955.5 i repetim el càlcul de les equacions personals, considerant ara el conjunt de totes les observacions. Els valors obtinguts són:

<u>mètode</u>	<u>nombre observacions</u>	<u>equació personal (s)</u>
veure i escoltar	28501	0.046 ± 0.038
aturar el rellotge	70617	-0.236 ± 0.028
gravar cinta	6526	0.181 ± 0.088
sense especificar	23028	-0.060 ± 0.047

Per a la majoria d'observacions fetes abans del 1955.5 (i especialment abans del 1940), no tenim informació del mètode utilitzat per l'observador per a la mesura del temps de l'ocultació. Aquest és el principal motiu de la gran variació del valor de l'equació personal en el grup "sense especificar". El motiu és el mateix per al cas de "veure i escoltar".

g) La més bona determinació dels valors ΔT_c i de les equacions personals al pas anterior, fa pensar que podem millorar els valors de les incògnites Δx_i obtingudes al pas d). Incloem les observacions amb mètodes fotoelèctrics, seleccionem aquelles ocultacions per a les quals $|\Delta\sigma| < 1.5$ o $|\Delta\sigma_1| < 1.5$, i resollem de nou el sistema d'equacions observació-càlcul (135271 ocultacions). Els valors que obtenim (taula 7, full 68)

són lleugerament diferents, si bé les diferències són dins dels marges d'error amb què estan afectats els valors. Per altra banda, els errors són coincidents amb els obtinguts anteriorment. Prenem, doncs, aquests valors com les correccions definitives a les variables x_i .

$$\Delta a = (-2.047 \pm 0.271) \text{ km}$$

$$\Delta e = (-1.633 \pm 0.657) \text{ km/UA}$$

$$\Delta i = 0''.089 \pm 0''.003$$

$$\Delta \Omega = (-4''.608 \pm 0''.478) + (0''.050 \pm 0''.115) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \omega = (2''.982 \pm 0''.295) + (0''.992 \pm 0''.128) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \lambda = (-1''.928 \pm 0''.180) + (-0''.542 \pm 0''.057) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \alpha'_0 = (0''.049 \pm 0''.009) + (-0''.226 \pm 0''.028) (T' - 19.715)$$

$$\Delta \varepsilon'_0 = (-0''.056 \pm 0''.003) + (-0''.150 \pm 0''.009) (T' - 19.715)$$

$$\Delta x_w = 0''.055 \pm 0''.001$$

$$\Delta x = -0''.170 \pm 0''.003$$

$$\Delta y = 3''.809 \pm 0''.364$$

$$\Delta u = -0''.018 \pm 0''.002$$

$$\Delta v = 0''.089 \pm 0''.002$$

Taula 7. Correccions a les efemèrides DE200/LE200, sistema de referència FK5 i datum de Watts.

h) Trobem els nous residus $\Delta \sigma_1$, per a les ocultacions anteriors al 1955.5, en funció dels valors Δx_i de la taula 7 (full 68) i de les equacions personals del pas f). Repetim el pas c) i trobem els valors ΔT , $\angle T'$ i ΔT_c que relacionem a la taula 8 (fulls 69-71).

Taula 8. Diferències entre les escales de Temps Dinàmic Baricèntric i Temps Universal. ΔT correspon a un ajust d'un polinomi quadràtic a 9 punts, segons expliquem al text.

<u>ANY</u>	<u>N.OBS.</u>	<u>ΔT (s)</u>	<u>δ</u>	<u>N.OBS.</u>	<u>$\Delta T'$ (s)</u>	<u>δ'</u>	<u>$\frac{\Delta T}{c}$ (s)</u>
1801	18	10.55	10.98	17	13.08	2.22	13.08
1802	13	9.31	13.85	12	12.54	7.87	12.54
1803	11	10.54	26.00	9	9.95	8.23	9.95
1804	2	13.73	1.78	2	13.73	1.78	13.73
1805	39	9.54	12.18	34	13.80	4.38	14.87
1806	16	9.34	8.43	15	11.27	3.55	16.29
1807	4	26.14	43.35	4	26.14	43.35	17.01
1808	8	14.40	6.25	7	16.17	4.04	16.57
1809	28	11.14	16.08	25	12.53	6.09	15.71
1810	11	12.46	2.38	10	13.11	1.05	14.58
1811	19	1.27	38.08	17	13.78	2.99	12.08
1812	27	9.02	19.42	26	12.53	6.83	13.35
1813	60	13.41	7.63	54	13.90	3.76	13.18
1814	21	11.20	9.73	18	12.82	5.62	12.85
1815	8	12.38	6.18	7	14.09	4.15	12.66
1816	2	9.24	10.38	2	9.24	10.38	12.12
1817	12	14.80	3.96	10	13.41	2.48	11.79
1818	23	12.53	2.02	21	12.14	1.64	11.71
1819	3	10.46	2.32	3	10.46	2.32	11.90
1820	8	14.90	4.43	7	13.40	1.35	12.65
1821	31	13.30	13.68	27	12.10	5.84	12.55
1822	53	16.04	19.06	50	13.37	5.47	12.56
1823	34	11.20	8.30	33	12.55	2.54	12.25
1824	9	11.60	1.88	8	12.00	1.53	12.05
1825	12	6.33	13.38	11	10.17	1.51	12.10
1826	31	13.77	12.78	30	11.61	4.45	11.35
1827	20	18.42	16.27	18	13.37	5.03	10.68
1828	26	10.70	6.90	25	9.53	3.58	9.98
1829	11	1.42	14.05	9	7.52	2.75	9.45
1830	81	8.82	3.20	78	8.27	1.51	8.27
1831	79	10.05	9.47	75	8.29	3.64	7.43
1832	69	7.71	4.99	63	7.97	2.52	7.34
1833	30	3.70	9.69	28	6.04	0.85	7.05
1834	34	8.49	10.32	33	6.76	2.31	6.44
1835	53	5.80	2.98	50	6.00	1.30	6.03
1836	35	4.68	8.15	32	5.84	2.34	5.75
1837	22	4.19	7.60	21	5.76	1.97	5.98
1838	23	6.48	7.46	21	5.82	2.47	5.70
1839	60	5.73	3.71	55	5.70	1.68	5.84
1840	101	5.41	9.48	93	6.64	3.44	5.93
1841	32	1.63	14.07	30	4.99	3.23	6.01
1842	61	8.36	10.17	55	6.85	2.67	6.25
1843	23	6.24	2.61	21	6.22	1.15	6.42
1844	32	5.75	3.94	28	6.61	1.23	6.56
1845	36	14.18	42.02	35	7.22	5.12	7.04
1846	45	6.31	3.28	42	6.70	1.61	7.02
1847	49	6.59	4.06	45	7.32	0.97	7.13
1848	29	8.87	5.23	27	7.67	2.05	7.27
1849	66	7.09	6.30	62	6.91	2.48	7.50
1850	72	7.58	9.30	67	7.44	2.60	7.78

Taula 8. (continuació)

<u>ANY</u>	<u>N.OBS.</u>	<u>ΔT (s)</u>	<u>δ</u>	<u>N.OBS.</u>	<u>$\Delta T'$ (s)</u>	<u>δ'</u>	<u>$\frac{\Delta T}{C}$ (s)</u>
1851	52	8.66	4.19	49	8.47	1.45	7.84
1852	36	8.23	4.44	34	8.26	1.91	7.94
1853	23	8.35	3.03	20	7.83	1.01	8.11
1854	32	9.13	7.55	31	7.89	2.86	8.30
1855	35	7.96	2.30	32	8.32	1.24	8.33
1856	21	8.98	2.78	18	8.73	0.98	8.58
1857	20	10.37	13.76	18	9.37	1.04	8.88
1858	25	8.42	6.78	23	8.35	3.28	8.97
1859	17	7.85	3.52	15	8.97	1.38	8.69
1860	47	9.48	15.07	41	8.71	7.42	8.29
1861	130	7.01	16.30	125	7.85	6.74	7.97
1862	53	3.79	20.00	48	7.20	8.02	7.93
1863	83	7.03	11.74	75	7.70	4.67	7.75
1864	161	7.49	27.42	156	8.02	6.97	7.71
1865	93	7.33	15.64	85	7.78	6.25	7.45
1866	109	2.08	16.50	95	6.84	4.73	6.84
1867	146	5.13	9.22	137	5.93	3.65	5.71
1869	136	1.78	9.83	125	3.05	3.84	2.87
1870	54	4.12	40.00	52	1.59	15.11	1.38
1871	41	1.30	25.03	35	0.65	6.27	-0.01
1872	74	-9.67	39.05	71	-2.47	9.62	-0.77
1873	59	-3.57	14.41	57	-1.16	6.07	-1.64
1874	60	5.39	57.09	59	-1.93	6.76	-1.99
1875	68	-2.66	15.06	62	-1.37	6.50	-2.29
1876	112	-3.07	9.70	102	-3.34	3.17	-2.22
1877	245	-3.34	20.37	233	-2.09	5.40	-2.72
1878	91	-4.06	22.04	84	-3.41	5.95	-3.03
1879	58	-3.79	14.28	53	-2.85	6.63	-3.43
1880	288	-3.41	13.85	266	-3.99	5.00	-3.49
1881	110	-6.39	31.21	106	-3.92	6.64	-3.99
1882	104	-3.69	16.50	99	-4.17	5.33	-4.20
1883	133	-4.25	13.85	124	-4.08	4.80	-4.45
1884	142	-7.21	20.69	125	-5.12	6.45	-4.60
1885	397	-5.83	13.96	375	-4.62	4.53	-4.78
1886	359	-5.56	10.14	340	-4.59	3.42	-4.71
1887	236	-4.92	15.72	224	-5.12	4.71	-4.55
1888	155	-4.17	14.20	142	-4.40	4.33	-4.76
1889	98	-4.69	18.80	92	-4.30	4.63	-5.08
1890	84	-5.48	7.55	76	-5.20	2.44	-5.22
1891	144	1.05	50.24	138	-6.83	10.57	-5.27
1892	214	-5.28	11.82	198	-4.96	3.73	-5.46
1893	348	-4.45	7.99	328	-4.82	3.31	-5.46
1894	389	-5.59	9.04	364	-5.18	2.95	-5.41
1895	606	-6.77	10.07	566	-5.55	3.38	-5.16
1896	622	-5.37	10.65	589	-5.23	2.77	-5.13
1897	502	-6.23	14.27	478	-5.22	4.15	-4.84
1898	816	-3.21	14.75	786	-3.50	3.97	-4.11
1899	506	-3.27	13.10	491	-3.07	3.51	-3.05
1900	273	-4.29	13.31	255	-2.41	4.04	-1.73
1901	137	-0.34	11.05	127	-0.11	1.83	-0.30
1902	257	1.02	20.33	247	1.26	3.04	0.91
1903	344	0.47	22.98	334	2.68	6.13	2.47
1904	230	2.46	7.65	218	3.49	2.70	3.70

Taula 8. (continuació)

<u>ANY</u>	<u>N.OBS.</u>	<u>ΔT (s)</u>	<u>δ</u>	<u>N.OBS.</u>	<u>$\Delta T'$ (s)</u>	<u>δ'</u>	<u>$\frac{\Delta T}{C}$ (s)</u>
1905	405	4.44	10.62	383	4.48	3.54	4.73
1906	471	7.08	11.40	450	6.61	3.08	5.96
1907	285	4.96	15.68	263	6.50	3.76	7.25
1908	205	5.84	31.89	195	8.76	8.60	8.75
1909	191	9.52	9.14	174	10.33	3.28	10.01
1910	264	9.48	13.75	256	11.36	3.37	11.16
1911	402	12.78	7.01	386	12.74	2.50	12.61
1912	261	15.45	28.41	257	13.03	5.80	13.77
1913	321	14.73	13.46	307	15.01	3.93	14.92
1914	558	16.90	16.09	542	16.66	4.05	16.05
1915	378	15.80	21.40	370	17.28	5.51	17.33
1916	227	15.56	15.73	218	18.14	4.21	18.72
1917	273	18.47	11.47	263	19.50	3.76	19.71
1918	226	20.51	20.80	222	21.29	4.59	20.59
1919	122	21.06	4.77	114	21.68	1.95	21.32
1920	94	21.66	6.16	90	21.54	2.62	21.95
1921	198	21.30	12.90	189	22.14	4.01	22.39
1922	176	23.36	12.48	164	22.54	2.99	22.75
1923	416	23.11	6.07	398	23.65	2.26	23.23
1924	711	22.77	10.01	670	23.79	2.62	23.74
1925	639	23.86	8.01	613	23.97	2.93	24.11
1926	324	23.60	7.19	310	24.18	2.43	24.30
1927	465	25.19	17.27	455	24.50	4.83	24.30
1928	881	24.25	6.00	845	24.47	1.97	24.32
1929	920	22.94	38.73	915	24.09	4.66	24.26
1930	829	23.00	17.30	813	24.11	3.13	24.18
1931	849	23.37	8.99	834	24.13	2.32	24.10
1932	1097	24.23	10.66	1082	24.10	2.01	24.15
1933	1105	24.30	8.69	1084	24.22	2.26	24.22
1934	1494	23.64	35.75	1486	24.29	4.01	24.23
1935	1848	24.43	4.64	1746	24.35	1.54	24.22
1936	1115	23.49	12.37	1096	24.09	2.86	24.17
1937	1089	24.14	6.49	1063	24.11	1.96	24.15
1938	1146	24.35	3.81	1078	24.22	1.40	24.20
1939	857	24.34	4.71	822	24.26	1.71	24.34
1940	563	24.76	3.75	535	24.70	1.31	24.70
1941	403	25.08	4.78	390	25.06	1.30	25.06
1942	397	25.42	4.13	381	25.52	1.44	25.53
1943	735	26.12	6.53	703	26.23	2.04	26.07
1944	864	26.37	9.98	837	26.37	1.98	26.64
1945	752	27.91	10.62	730	27.28	2.60	27.21
1946	762	28.32	8.22	726	27.78	2.26	27.74
1947	966	25.67	82.40	965	28.32	5.72	28.15
1948	971	28.77	5.09	915	28.57	1.92	28.58
1949	1206	28.75	8.84	1160	28.83	2.31	28.89
1950	1652	28.89	16.35	1633	29.06	3.47	29.23
1951	1725	29.60	12.00	1684	29.74	3.58	29.65
1952	1810	30.15	8.98	1733	30.02	2.94	30.04
1953	1556	30.16	7.04	1480	30.48	2.26	30.44
1954	1828	30.99	9.46	1767	30.92	2.71	30.75
1955	1735	30.34	9.45	1690	30.76	2.47	30.96

A la figura 6 representem els valors $\Delta T'$ de la taula 8 (fulls 69-71) com a triangles i els valors ΔT_c com a línia contínua. La línia discontinua correspon als valors obtinguts per Morrison i Stephenson (1981).

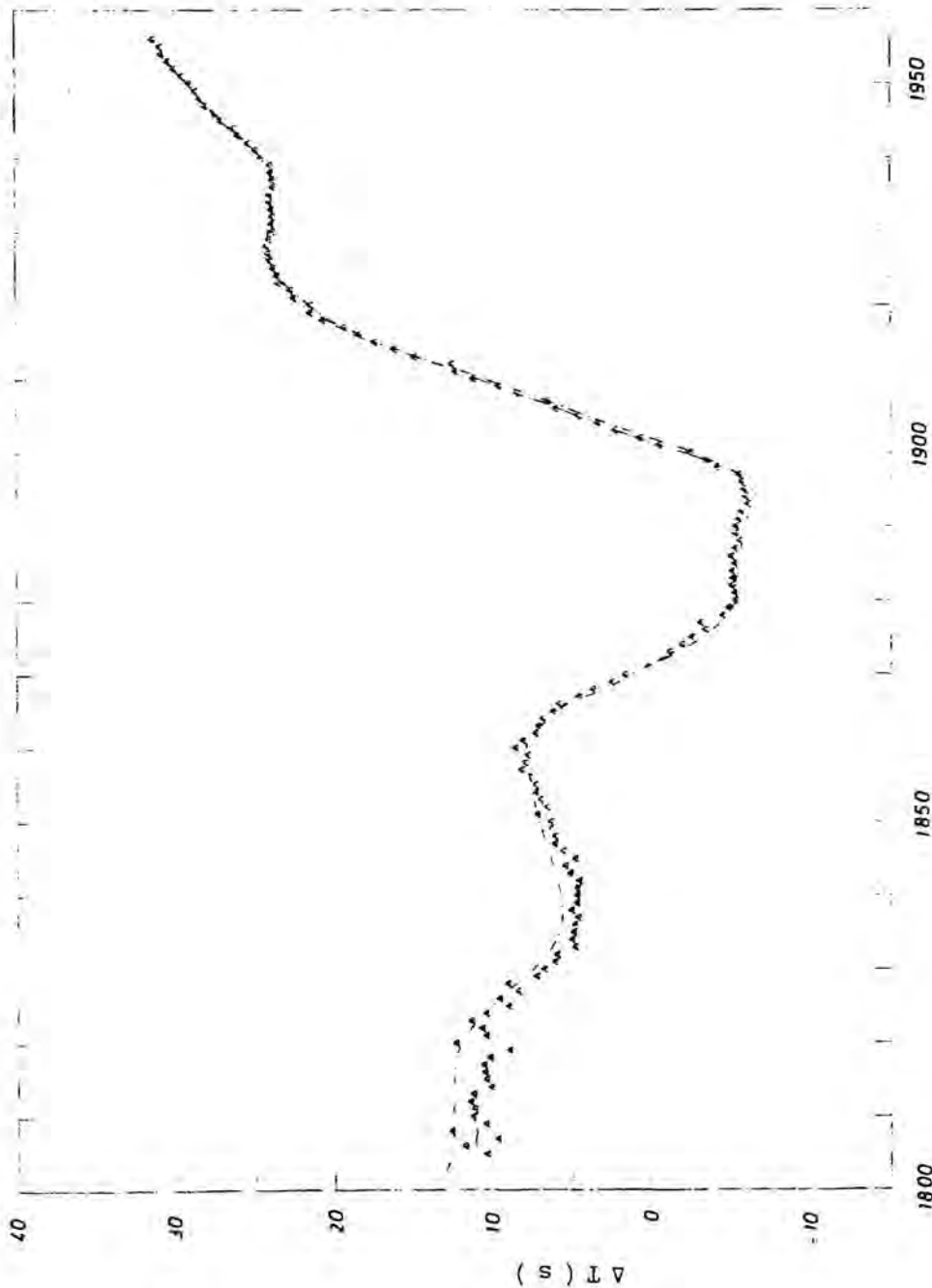


Figura 6. Valors de TDB-TV del 1800 al 1955. Els petits triangles corresponen a les mitjanes anuals $\Delta T'$ de la taula 8 i la línia contínua representa un polinomi quadràtic ajustat a 9 punts (ΔT_c a la taula 8).

La línia marcada amb punt i ratlla correspon als valors obtinguts per Morrison (1979b) i Morrison i Stephenson (1981).

4. DISCUSSIÓ

4.1. EQUACIONS PERSONALS

Morrison (1979a) dona valors d'equació personal diferents en funció de si es tracta d'una immersió o una emersió. En el cas del mètode que consisteix en "veure i escoltar" no aplica cap tipus de correcció, i per al cas de "aturar el rellotge" considera un valor de -0.4 s per a les immersions i -0.5 s per a les emersions.

Sinzi i Suzuki (1967) i Mori (1975) troben que l'equació personal té correlació amb la magnitud de l'estrella ocultada i l'exactitud considerada per l'observador, però no obtenen diferències significatives quan és una immersió o una emersió. Els valors determinats per aquests autors són més elevats que els adoptats per Morrison (1979a), si bé coincideixen en no aplicar cap correcció pel mètode de "veure i escoltar".

Morrison i Appleby (1981b), treballant només amb ocultacions per límbic fosc, determinen un valor constant per al cas de les immersions i, per a les emersions, obtenen una correcció en funció de la fase de la Lluna i la magnitud de l'estrella.

Van Flandern (1971) considera que cal tenir present l'equació personal als casos de "gravació de cinta" i "aturar el rellotge". En canvi, per al mètode "veure i escoltar", donada l'experiència dels observadors i les precisions que s'obtenen, no la considera.

Els nostres resultats confirmen l'exactitud de les observacions visuals pel mètode de "veure i escoltar". El càlcul de les equacions personals considerant només les observacions posteriors a 1955.5 o bé tot el conjunt, mostra una major diferència per al cas que l'observador no espe-

cifica quin mètode ha utilitzat. Diferents raons contribueixen en aquest fet: a) per a la majoria d'observacions d'abans del 1940 no coneixem el mètode utilitzat, b) tampoc sabem si s'ha aplicat o no correcció d'equació personal, i c) les observacions es feien principalment per personal molt expert i això fa que considerades conjuntament, donin una molt bona exactitud.

Pel que respecte al mètode de "aturar el rellotge", els nostres resultats concorden força bé amb els dels autors referits anteriorment.

4.2. SISTEMA DE REFERÈNCIA FK5

Equinocci.

L'equinocci del sistema de referència FK4 no coincideix amb l'equinocci dinàmic. La desviació entre els dos i el moviment del FK4 respecte del dinàmic han estat calculats per diversos autors.

A la construcció del nou sistema FK5 a partir del FK4, s'aplica la correcció obtinguda per Fricke (1982) de:

$$\Delta \alpha'_{\odot} = (0''.525 \pm 0''.045) + (1''.275 \pm 0''.150) (T' - 19.50)$$

a partir de diferents valors presos de treballs anteriors (taula 1, Fricke, 1982).

Les efemèrides DE200/LE200 es deriven de les DE118/LE62. L'equinocci de les DE118/LE62 és pràcticament l'equinocci FK4 a l'època 1950.0 (Standish, 1982b), i l'autor aplica una rotació de 0''.531 per referir les efemèrides al nou sistema FK5, donant lloc a les DE200/LE200. El mateix autor indica que aquesta diferència de 0''.006 amb el valor de Fricke és fortuïta i pot considerar-se que els dos equinoccis (FK5 i DE200/LE200) coin-

cideixen.

El resultat d'aquest treball (taula 7, full 68) indica que l'equinocci FK5 s'aparta del DE200/LE200 en:

$$\Delta\alpha'_0 = (0.049 \pm 0.009) - (0.226 \pm 0.028) (T' - 19.715) = \\ (-0.015 \pm 0.017) - (0.226 \pm 0.028) T$$

on T és l'interval de temps dinàmic baricèntric des de J2000.0 en segles julians.

Aquesta correcció hauria de sumar-se sistemàticament a l'ascensió recta de l'estrella, per tal que la seva posició estigués referida a l'equinocci dinàmic definit per les efemèrides DE200/LE200.

A les integracions numèriques i també a la teoria analítica de Bretagnon (1980), l'equinocci dinàmic és el resultat d'omitjar la localització del nodus ascendent de l'òrbita mitjana instantània de la Terra sobre l'equador, mentre que l'equinocci inherent a la Teoria de Newcomb (1898) s'obté a partir de l'òrbita mitjana en moviment de la Terra. Per altra banda, cal considerar si s'ha treballat amb un sistema inercial o amb un en rotació, perquè en resulten dos equinoccis i equadors diferents (Standish, 1981).

La majoria de correccions FK4-dinàmic utilitzades per Fricke (1982) es basen en la Teoria de Newcomb, l'equinocci de la qual està referit a un sistema en rotació. Cal considerar, doncs, que el nou equinocci FK5 està definit en aquest sentit "rotacional". Si es vol treballar en un sistema "inercial", les diferències que cal considerar són (Standish, 1981):

$$E^r - E^i = -0.09366$$

$$e^r - e^i = 0.00334$$

a l'època J2000.0

En un estudi recent del sistema FK5 mitjançant reducció d'ocultacions d'estrelles per la Lluna i utilitzant les efemèrides ELP2000, Sôma (1985) obté una correcció d'equinocci a J2000.0 de :

$$\Delta\alpha'_o = 0''.177 \pm 0''.012 = E_{ELP}^i - E_{FK5}$$

Ara bé, les efemèrides ELP2000 (Chapront-Touzé i Chapront, 1983) utilitzen la teoria VSOP82 de Bretagnon (1980) i per tant, l'equinocci i equador que defineixen tenen el sentit "inercial". Aplicant les diferències entre els sentits "inercial" i "rotacional", el resultat expressat anteriorment de Sôma (1985) es converteix en:

$$\Delta\alpha'_o = 0''.083 \pm 0''.012 = E_{ELP}^r - E_{FK5}$$

Per poder comparar aquest resultat amb l'obtingut en aquest treball, hem de considerar, encara, la diferència entre els equinoccis definits per les DE200/LE200 i les ELP2000. Chapront-Touzé i Chapront (1983) comparen les efemèrides ELP2000 amb les DE200/LE200 i obtenen:

$$E_{DE200} - E_{ELP}^i = -0''.09245 \pm 0''.00016 \quad \text{a J2000.0}$$

Combinant aquest valor amb el resultat de Sôma, tenim:

$$E_{DE200} - E_{FK5} = 0''.085 \pm 0''.012 \quad \text{a J2000.0}$$

La desviació de $(-0''.015 \pm 0''.017)$ obtinguda per nosaltres és inferior en aquest valor i s'apropa més als valors esperats, considerant les correccions de Fricke (1982) i Standish (1982b).

Pel que fa referència al moviment de l'equinocci FK5 respecte del dinàmic, el nostre resultat indica que a la construcció del sistema FK5

s'hagués hagut d'aplicar un valor de 1.05 ± 0.03 segle⁻¹, si tenim en compte el valor de 1.275 ± 0.150 segle⁻¹ aplicat per Fricke (1982) i la nostra correcció de (-0.226 ± 0.028) segle⁻¹.

Valors obtinguts per altres autors del moviment del FK4 respecte del dinàmic són:

ΔE_1 ("/segle) =	1.12 ± 0.29	Laubscher (1976)
	1.23 ± 0.16	Fricke (1967)
	1.40 ± 0.07	Asteriadis (1977)
	1.24 ± 0.18	du Mont (1978)
	1.5 ± 0.2	Morrison (1979a)
	1.27 ± 0.15	Fricke (1982)
	1.67 ± 0.75	Rosselló (1982)
	1.08 ± 0.07	Morrison (1982)

Morrison (1979a) considera més correcte els valor donat per Fricke (1967) de 1.23 "/segle que el seu de 1.5 "/segle. Per altra banda, Rosselló (1982) obté la seva correcció amb un període curt d'anys. Això fa que obtingui un error estàndard elevat. El nostre valor de 1.05 "/segle s'ajusta més al valor de Laubscher (1976) i especialment al de Morrison (1982).

Obliquitat de l'eclíptica.

Fricke (1982) considera que l'equador del sistema FK4 i del sistema dinàmic coincideixen i l'adopta com a equador per al sistema FK5.

L'obliquitat de l'eclíptica adoptada per la UAI (1976) per a l'època J2000.0 és:

$$\epsilon_0 = 23^{\circ}26' 21.448''$$

mentre que la considerada a les efemèrides DE200/LE200 és de :

$$\epsilon_0 = 23^{\circ}26' 21''.4119$$

Esperem, doncs, una desviació de $-0''.036$.

Els resultats de la taula 7 (full 68) mostren que l'eclíptica del sistema FK5 s'ha de corregir en:

$$\begin{aligned} \Delta\epsilon_0 &= (-0''.056 \pm 0''.003) - (0''.150 \pm 0''.009) (T' - 19.715) = \\ &(-0''.099 \pm 0''.006) - (0''.150 \pm 0''.009) T \end{aligned}$$

perquè els equadors FK5 i dinàmic coincideixin. El valor de l'obliquïtat de l'eclíptica a J2000.0, seria doncs de : $23^{\circ}26' 21''.392 \pm 0''.006$.

Referint-nos novament al treball de Sôma (1985), ell troba un valor de $23^{\circ}26' 21''.432 \pm 0''.004$ en el sentit "inercial" i $23^{\circ}26' 21''.435 \pm 0''.004$ en el sentit "rotacional".

Chapront-Touzé i Chapront (1983) a la seva comparació de les efemèrides ELP2000 amb les DE200/LE200, obtenen un valor de $23^{\circ}26' 21''.412$ per a les ELP2000, i per tant dedueixen que els respectius equadors són coincidents. La correcció de Sôma i la d'aquest treball, haurien, també, de coincidir.

Newhall et al (1983) a la construcció de les efemèrides DE102, troben un valor per a l'obliquïtat de $\epsilon_0(1950.0) = 23^{\circ}26' 44''.816 \pm 0''.015$, millorant la precisió amb què es va determinar el valor de Lieske et al (1977) de $23^{\circ}26' 44''.855$ que és l'adoptat per la UAI (1976). Per a l'època J2000.0 el valor calculat per Newhall et al, seria de $23^{\circ}26' 21''.409$.

Lieske (1970) considerava la necessitat de diferenciar entre el moviment de l'equador i el de l'eclíptica. Quan tractem amb observacions de Sol i Lluna els dos moviments són indistingibles, però són teò-

ricament diferenciables en observacions d'altres cossos dels sistema solar, perquè els seus plans orbitals són independents de l'eclíptica. Ara bé, en casos com Mercuri, per la seva proximitat al Sol, i petits planetes o Mart observats prop de l'oposició, els dos moviments tenen una forta correlació i de vegades la distinció és difícil.

A continuació detallem valors obtinguts per altres autors:

$\Delta\epsilon_{\uparrow}(\text{eclíptica})$	$\Delta\epsilon_{\uparrow}(\text{equador})$	(" / segle)
-0.15 ± 0.04	-0.41 ± 0.09	Lieske (1970)
-0.14 ± 0.11	-0.14 ± 0.11	Laubscher (1976)
	-0.10 ± 0.05	Morrison (1979a)
	-0.15 ± 0.02	Morrison (1982)
	-0.11 ± 0.05	du Mont (1978)
	-0.16 ± 0.07	(solució entre aquests dos rangs)

El nostre resultat de -0.150 ± 0.009 concorda força bé amb els resultats anteriors.

4.3. EFEMERIDES DE200/LE200

Semieix.

El semieix adoptat a la construcció de les efemèrides DE200/LE200 va ser:

$$a = 384747.965736 \text{ km}$$

La correcció obtinguda en aquest treball de $\Delta a = -2.047 \pm 0.271$

km, indica que aquest semieix hauria de ser 384745.919 ± 0.271 km.

Newhall et al (1983) a la construcció de les efemèrides DE102 per integració numèrica des del 1411BC al 3002AD, consideren un valor de 384413.37 km. Chapront et al (1983) a les efemèrides ELP2000, consideren el semieix major com 384747.980645 km. Moyer (1981a) considera un valor de 384399.1 km.

Excentricitat.

L'excentricitat adoptada en les efemèrides DE200/LE200 és:

$$e = 0.054900489$$

La correcció obtinguda en aquest treball de $\Delta e = (-1.633 \pm 0.657)$ km/UA = $-(1.09 \pm 0.66) \cdot 10^{-8}$ indica que el valor correcte per a l'excentricitat és de $e = 0.054900478$.

Newhall et al (1983) consideren un valor de 0.055, mentre Moyer (1981a) treballa amb un valor de 0.0549. Morrison (1979a) troba una excentricitat de 0.05490077. Les efemèrides j=2 (Eckert et al, 1966) adopten un valor de 0.05490049. Rosselló (1982) treballant exclusivament amb observacions fotoelèctriques d'ocultacions d'estrelles per la Lluna, troba un valor de 0.05490055.

Inclinació.

D'acord amb les efemèrides utilitzades, l'òrbita de la Lluna té una inclinació sobre l'eclíptica de

$$i = 591453964$$

La correcció de la taula 7 (full 68), $\Delta i = 0''.089 \pm 0''.003$, indica que el valor correcte per a aquesta inclinació ha de ser

$$i = 59^{\circ}1454211 \pm 0''.003.$$

Newhall et al (1983) en les efemèrides DE102 consideren un valor per a la inclinació de 6969. Morrison (1979a) troba un valor de 591453669 i Rosselló (1982) de 591453520.

Longitud del nodus ascendent.

La longitud del nodus ascendent de l'òrbita de la Lluna mesurada sobre de l'eclíptica ve donada per:

$$\Omega = 125^{\circ} 2'40''.280 - (5^{\circ} + 482890''.539) T + 7''.455 T^2 + 0''.008 T^3$$

La correcció obtinguda de

$$\begin{aligned} \Delta\Omega &= (-4''.608 \pm 0''.478) + (0''.050 \pm 0''.115) (T' - 19.715) * \\ &= (-4''.594 \pm 0''.511) + (0''.050 \pm 0''.115) T \end{aligned}$$

mostra que el valor correcte per a la longitud del nodus ascendent seria:

$$\Omega = 125^{\circ} 2'35''.686 - (5^{\circ} + 482890''.489) T + 7''.455 T^2 + 0''.008 T^3$$

Longitud del perigeu.

La longitud del perigeu de l'òrbita de la Lluna ve donada per:

$$\omega = -41^{\circ}41'27''.856 + (16^{\circ} + 875340''.504) T - 44''.567 T^2 - 0''.053 T^3$$

La correcció que hem obtingut de

$$\begin{aligned}\Delta\omega &= (2''.982 \pm 0''.295) + (0''.992 \pm 0''.128) (T' - 19.715) = \\ &= (3''.265 \pm 0''.331) + (0''.992 \pm 0''.128) T\end{aligned}$$

mostra que el valor correcte per a la longitud del perigeu seria:

$$\omega = -41^{\circ}41'24''.591 + (16^{\circ} + 875341''.496) T - 44''.567 T^2 - 0''.053 T^3$$

Anomalia mitjana.

L'anomalia mitjana de la Lluna ve expressada com:

$$\ell = 134^{\circ}57'46''.733 + (1325^{\circ} + 715922''.633) T + 31''.310 T^2 + 0''.064 T^3$$

La correcció obtinguda en aquest treball de :

$$\begin{aligned}\Delta\ell &= - (1''.928 \pm 0''.180) - (0''.542 \pm 0''.057) (T' - 19.715) = \\ &= - (2''.082 \pm 0''.196) - (0''.542 \pm 0''.057) T\end{aligned}$$

mostra que l'anomalia mitjana hauria de ser:

$$\ell = 134^{\circ}57'44''.651 + (1325^{\circ} + 715922''.091) T + 31''.310 T^2 + 0''.064 T^3$$

A les efemèrides ELP2000 s'ha adoptat un valor de :

$$\ell = 134^{\circ}57'48''.28096 + (1325^{\circ} + 715923''.38) T + 32''.38 T^2$$

Sôma (1985) troba una correcció de $0''.03 \pm 0''.06$ de forma que:

$$l = 134^{\circ}57'48''.31 + (1325^{\text{T}} + 715923''.38) T + 32''.38 T^2$$

Longitud mitjana.

Donat que la longitud mitjana de la Lluna ve donada per:

$$\begin{aligned} L &= \Omega + \omega + l = \\ &= 218^{\circ}18'59''.157 + (1336^{\text{T}} + 1108372''.598) T - 5''.802 T^2 + 0''.019 T^3 \end{aligned}$$

a partir de les correccions anteriors, podem calcular la correcció que cal aplicar a la longitud mitjana de la Lluna:

$$\begin{aligned} \Delta L &= -(3''.554 \pm 0''.590) + (0''.500 \pm 0''.181) (T' - 19.715) = \\ &= -(3''.412 \pm 0''.642) + (0''.500 \pm 0''.181) T \end{aligned}$$

de forma que el valor correcte per a la longitud mitjana seria de:

$$L = 218^{\circ}18'55''.745 + (1336^{\text{T}} + 1108373''.098) T - 5''.802 T^2 + 0''.019 T^3$$

Cal fer notar que si existeix un desplaçament en longitud del centre del datum de Watts respecte del centre de la Lluna definit per les efemèrides, aquesta desviació afectarà les correccions $\Delta\Omega$, $\Delta\omega$ i Δl , tal com ja demostren les correlacions d'aquestes variables amb Δy .

4.4. DATUM DE WATTS

Radi.

Els càlculs d'aquest treball s'han basat en un radi equatorial de la Lluna de 1738.0 km, i una distància mitjana Terra-Lluna de 384747.965736 km.

En aquesta distància mitjana el radi de la Lluna precisa una correcció de:

$$\Delta r_w = 0.055 \pm 0.001$$

que representa una correcció de (0.103 ± 0.002) km. Això vol dir que el radi de la Lluna hauria de ser de (1738.103 ± 0.002) km.

Valors obtinguts per d'altres autors són:

Van Flandern (1970)	1738.11	± 0.03	km
Morrison (1979a)	1738.23	± 0.02	km
Morrison i Appleby (1981)	1738.05	± 0.02	km
Jordi (1982)	1738.07	± 0.02	km
Newhall et al (1983)	1738.09		km
Sôma (1985)	1738.107	± 0.004	km

El resultat d'aquest treball està d'acord amb les obtinguts pels altres autors.

Desplaçament del centre del datum.

El centre del datum de Watts està desplaçat del centre de la Lluna definit per les efemèrides DE200/LE200 en:

$$\text{latitud} : \Delta x = -0.170 \pm 0.003$$

$$\text{longitud} : \Delta y = 3.809 \pm 0.364$$

El centre de la Lluna definit per les efemèrides DE200/LE200 és el centre de masses, ja que les posicions s'han obtingut per integració numèrica de les equacions de moviment. Des de fa alguns anys es sap que el centre de figura està desplaçat al sud del centre de masses, i Watts alhora de la construcció de les cartes va moure el centre del seu cercle de referència, per tal de fer-los coincidir.

A continuació detallem alguns resultats obtinguts per d'altres autors pel que respecte a la correcció en latitud:

Van Flandern (1970)	-0.24 ± 0.10
Morrison (1979a)	-0.191 ± 0.004
Morrison i Appleby (1981)	-0.18 ± 0.01
Jordi (1982)	-0.124 ± 0.013
Sôma (1985)	-0.239 ± 0.004

El nostre resultat és coherent amb aquests valors.

La correcció en longitud depèn de les efemèrides utilitzades, i per aquesta raó no és directament comparable amb els valors obtinguts per Morrison (1979a), Morrison i Appleby (1981) o Jordi (1982) que utilitzaven les efemèrides $j=2$. Sôma (1985) no calcula correcció en longitud.

El.lipticitat.

Watts (1963) va avaluar el datum obtingut i va suposar que treballant fotografies independents per al limbe est i l'oest i la seva posterior connexió amb perfils propers a l'oposició, podia resultar un datum el.líptic. Mitjançant la construcció d'imatges artificials de la Lluna, va estimar l'el.lipticitat en:

$$\Delta\sigma_e = (0''.15 \pm 0''.08) \cos 2(\pi - 153^\circ \pm 15^\circ)$$

D'acord als resultats de la taula 7 (full 68), i considerant l'equació (2-57):

$$\Delta\sigma_e = (-0''.091 \pm 0''.003) \cos 2(\pi - 141^\circ \pm 4^\circ)$$

Aquest valor és molt coincident amb treballs anteriors:

Morrison (1979a)	$(- 0''.09 \pm 0''.01)$	$\cos 2(\pi - 146^\circ \pm 1^\circ)$
Morrison i Appleby (1981)	$(- 0''.09 \pm 0''.01)$	$\cos 2(\pi - 146^\circ \pm 1^\circ)$
Rosselló i Jordi (1982)	$(- 0''.087 \pm 0''.007)$	$\cos 2(\pi - 141^\circ \pm 4^\circ)$
Sóma (1985)	$(- 0''.128 \pm 0''.003)$	$\cos 2(\pi - 135^\circ \pm 1^\circ)$

Els resultats semblen confirmar que Watts va sobreestimar la correcció requerida per eliminar l'el·lipticitat.

4.5. FLUCTUACIONS DE LA ROTACIÓ DE LA TERRA

C.B. Brouwer (1952), utilitzant observacions meridiànes i ocultacions d'estrelles per la Lluna, calculava els valors ΔT (temps d'efemèrides-temps universal) de 1820.5 a 1950.5, treballant amb les taules de Brown per a les efemèrides lunars.

Posteriorment, Ch.F. Martin (1969) obtenia les diferències entre les escales de temps per al període 1627-1860, utilitzant únicament ocultacions d'estrelles per la Lluna. Morrison (1979b) completava aquest treball, calculant les correccions per al període 1861-1955. Els treballs de Martin i Morrison, suposen una millora respecte als de Brouwer per haver

introduït les correccions al limbe lunar (Watts, 1963) i correccions a les taules de Brown.

En el present treball, hem utilitzat les efemèrides DE200/LE200 més precises que les taules de Brown i un nou sistema de referència i de constants. Aquestes millores han de repercutir necessàriament als valors de les diferències de les dues escales de temps. A la figura 6 hem representat mitjançant triangles els valors $\Delta T'$ de la taula 8 (fulls 69-71), i amb línia contínua els valors ΔT_c que corresponen a un ajust d'un polinomi quadràtic a 9 punts, tal com hem explicat al capítol anterior. A la mateixa gràfica hem representat per punts i ratlles els valors de Morrison (1979b) i Morrison i Stephenson (1981). La concordància de resultats és evident. La comparació dels valors de Brouwer pot fer-se mitjançant la figura 3 de Morrison (1979b) on s'han representat aquests valors un cop corregida la longitud mitjana de la Lluna.

Diferències ΔT .

Aplicant els valors ΔT_c de la taula 8 (fulls 69-71) als valors TU, tenim definida l'escala de Temps Dinàmic Baricèntric (que és un temps uniforme) abans del 1955.5.

El temps universal està directament relacionat amb el temps sideri per:

$$\theta = \theta_0 + 1.00273791 TU1 - \lambda$$

Per tant,

$$\Delta \theta = - 1.00273791 \Delta T (15/206265) \text{ radians}$$

Si considerem w la velocitat actual sidèrea de rotació i w' la velocitat constant de referència, el valor $\Delta\theta$ a qualsevol època t , vindrà donat com:

$$\Delta\theta = \Delta\theta(t_0) + \int_{t_0}^t (w - w') dt$$

Com valors de referència adoptem:

Explanatory Supplement (1974):

$$w' = 1.002737811906 (2\pi/86400) \text{ rad/s}$$

UAI(1976):

$$t_0 = 1 \text{ de gener de } 1977 \text{ a } 0h \text{ TAI}$$

$$\Delta T(t_c) = TD - UT1 = (TAI - UT1) + 32^s.184$$

Bureau International de l'Heure:

$$TAI - UT1 = 15^s.34 \text{ per a } t_0$$

D'aquests valors podem deduir:

$$\Delta\theta(t_0) = -0.003465 \text{ rad}$$

$$\text{i per tant, } \Delta\theta = -0.003465 + \int_{t_0}^t (w - w') dt$$

Derivades de ΔT .

Considerant ΔT com una funció del temps dinàmic, podem calcular la primera i segona derivades d'aquesta funció.

La primera derivada la representem a la figura 7 (full 89) i la segona derivada a la figura 8 (full 90).

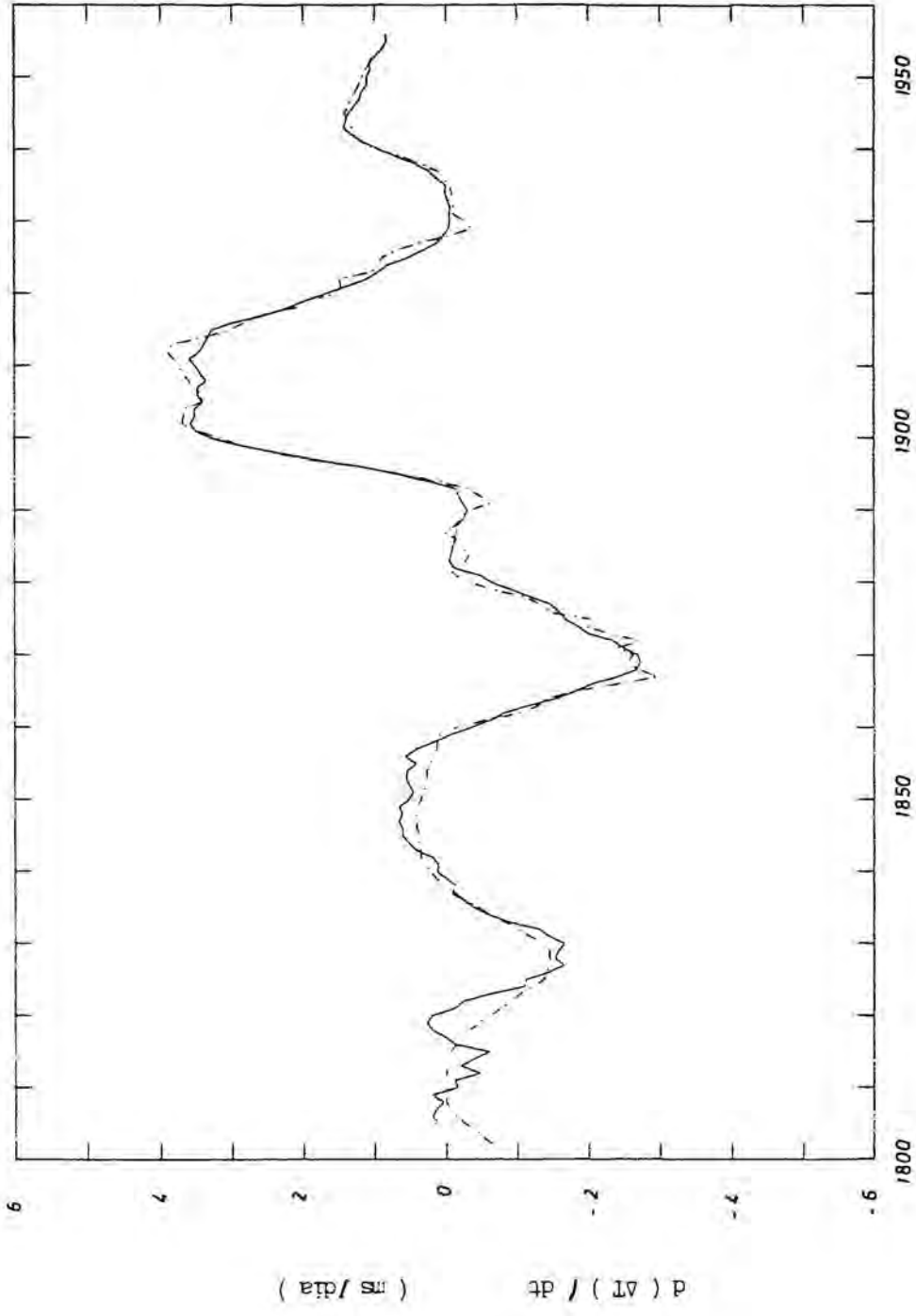


Figura 7. Valors de ΔT del 1800 al 1955. La línia contínua representa els valors trobats en aquests treballs. La línia marcada amb punt i ratlla correspon als valors obtinguts per Morrison (1979b) i Morrison i Stephenson (1981).

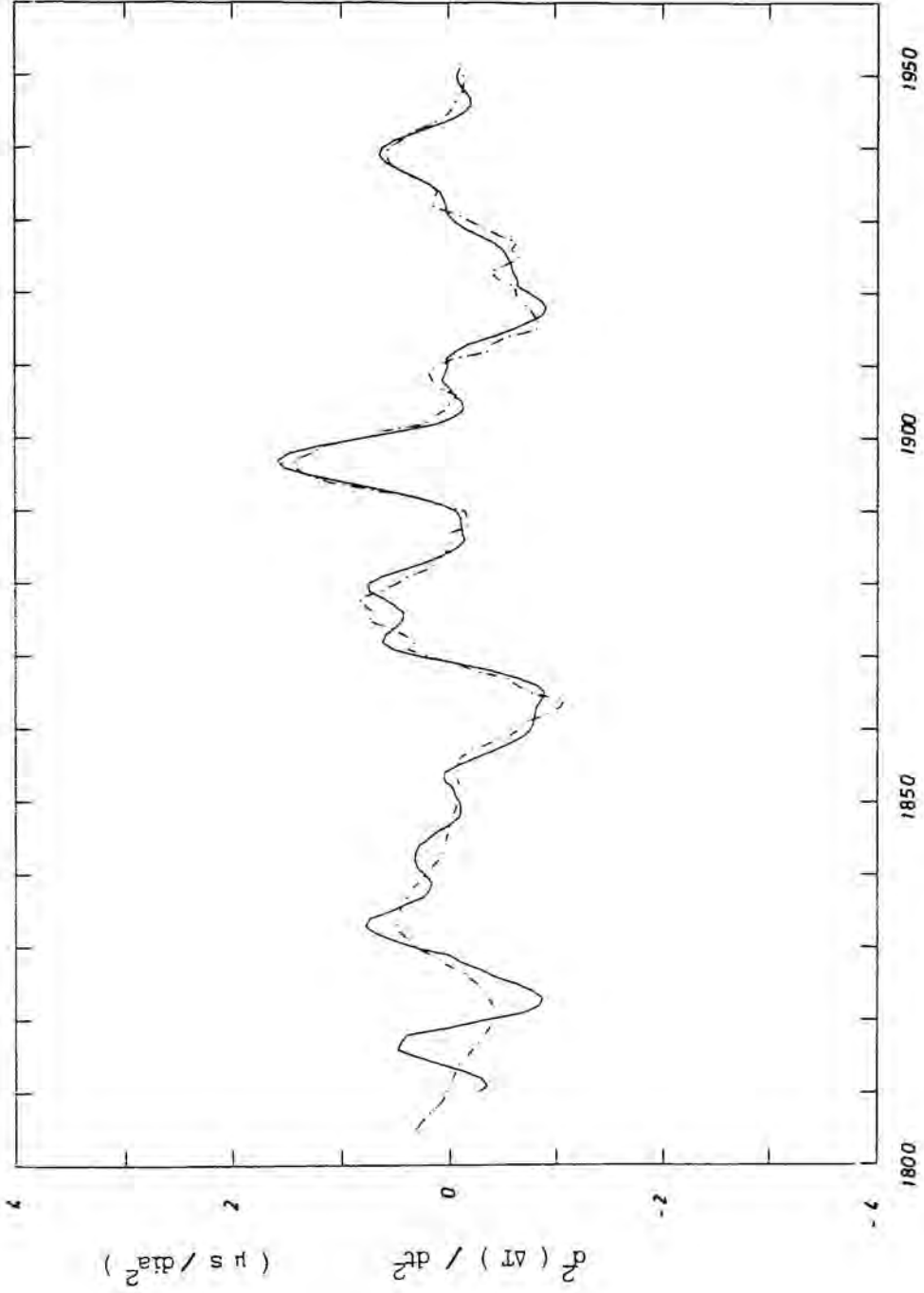


Figura 8. Valors de ΔT del 1800 al 1955. La línia contínua representa els valors trobats en aquests treballs. La línia marcada amb punt i ratlla correspon als valors obtinguts per Morrison (1979b) i Morrison i Stephenson (1981).

La primera derivada l'obtenim a partir de l'expressió (3-1),

$$\frac{d \Delta T(t)}{dt} = b + 2 c t$$

$$\text{Per a } t=0, \frac{d \Delta T(t)}{dt} = \dot{\Delta T} = b$$

La solució per mínims quadrats amb nou equacions dona un valor per a b equivalent a l'expressió:

$$\dot{T} = (1/60) \left[\Delta T'(1) - \Delta T'(-1) + 2(\Delta T'(2) - \Delta T'(-2)) + \right. \\ \left. + 3(\Delta T'(3) - \Delta T'(-3)) + 4(\Delta T'(4) - \Delta T'(-4)) \right]$$

La relació amb el temps sideri ens diu:

$$\dot{\Delta \theta} = -1.00273791 \dot{\Delta T}$$

i per altra banda,

$$\dot{\Delta \theta} = \omega - \omega' = \Delta \omega$$

Per tant, $\dot{\Delta T}$ ens expressa com creix o decreix la longitud del dia solar mitjà. Si $\dot{\Delta T}$ és positiva, $\Delta \omega$ serà negativa, o sigui la velocitat de la Terra decreix i el dia s'allarga. Al revés, si $\dot{\Delta T}$ és negativa, $\Delta \omega$ serà positiva i la velocitat de rotació de la Terra augmentarà fent que disminueixi el dia solar mitjà.

A la figura 7 (full 89), mostrem com línia de punt i ratlla, els

valors per a la primera derivada obtinguts per Morrison (1979b) i Morrison i Stephenson (1981) considerant un ajust polinòmic per mínims quadrats amb cinc equacions. La línia contínua correspon als valors obtinguts per nosaltres.

La segona derivada, $d^2(\Delta T)/dt^2 \equiv \ddot{\Delta T}$, pot interpretar-se com la velocitat de canvi de la longitud del dia solar mitjà. Multiplicant pel moment principal d'inèrcia del mantell terrestre $C = 7.2 \cdot 10^{37} \text{kg} \cdot \text{m}^2$, s'obté la magnitud del parell que actua sobre el mantell.

La segona derivada l'obtenim per aplicació de una convolució quadràtica a 11 punts de la forma:

$$429 \ddot{\Delta T}(0) = -10 \Delta T'(0) - 9(\Delta T'(1) + \Delta T'(-1)) - 6(\Delta T'(2) + \Delta T'(-2)) - \\ - (\Delta T'(3) + \Delta T'(-3)) + 6(\Delta T'(4) + \Delta T'(-4)) + 15(\Delta T'(5) - \Delta T'(-5))$$

Cal un ajust a 11 punts per tal d'eliminar fluctuacions erràtiques degudes a soroll de les dades. Morrison (1979b) estudiant les diferències T per al període 1955.5-1980, després de la introducció de l'escala de temps atòmic, justifica aquesta elecció d'ajust a 11 punts. A l'estudi del poder espectral, observa característiques de 6 mesos i d'un any, que són les anomenades variacions estacionals, atribuïdes a l'acció de l'atmosfera sobre el mantell terrestre. En canvi, no troba variacions de període entre 1 i 10 anys, cosa que justifica haver pres un ajust a 11 punts.

La segona derivada està representada a la figura 8 (full 90) com línia contínua. Amb línia discontinua mostrem els valors trobats per Morrison (1979b) i Morrison i Stephenson (1981).

4.6. CONCLUSIONS

Un dels objectius d'aquest treball era analitzar el nou sistema de

referència FK5 comparant-lo amb les efemèrides DE200/LE200, obtingudes per integració numèrica de posicions observades i, per tant, lliures dels errors periòdics inclosos en efemèrides com les $j=2$ o les taules de Brown.

L'equinocci i l'equador del sistema de referència FK5 no coincideixen amb els dinàmics definits per les efemèrides DE200/LE200. L'equinocci FK5 és molt proper al dinàmic a l'època J2000.0 ($-0^{\circ}.015 \pm 0^{\circ}.017$), confirmant els resultats esperats a partir de l'equinocci de les efemèrides i la correcció aplicada al sistema FK4. La correcció lineal amb el temps mostra que l'equinocci FK5 es mou respecte del dinàmic en ($-0^{\circ}.226 \pm 0^{\circ}.028$). Això sembla indicar que el moviment del FK4 respecte del dinàmic era de 1.05 "/segle .

Donem valors a les constants adoptades a la construcció de les efemèrides DE200/LE200, i correccions als arguments primaris: nodus ascendent, longitud del perigeu, anomalia mitjana i longitud mitjana de la Lluna.

Pel que respecte a equacions personals, es confirma l'exactitud del mètode basat en "veure i escoltar", que no precisa cap tipus de correcció, i pel que fa referència al que consisteix en "aturar el rellotge", els resultats coincideixen força bé amb els d'altres autors.

Les correccions al datum de Watts són molt coherents amb les obtingudes en treballs anteriors. Els resultats confirmen que Watts va sobreestimar el valor de l'el·lipticitat. El radi equatorial adoptat per a la Lluna hauria de ser de $1738.103 \pm 0.002 \text{ km}$.

Hem establert l'escala de temps uniforme (Temps Dinàmic Baricèntric) per al període anterior a 1955.5. Els valors són semblants als d'altres autors, si bé cal interpretar-los com una millora, donada la utilització d'unes efemèrides més precises, un nou sistema de referència i un nou sistema de constants.

Els resultats confirmem que a principis de segle van tenir lloc fenòmens on hi actuaven parells molt elevats.

Els valors de la taula 8 (fulls 69-71) tenen interès tant des del punt de vista de l'astronomia, ja que estableixen una escala de temps uniforme, i ens mostren com varia la longitud del dia solar mitjà, com des del punt de vista de geofísics i metereòlegs, ja que mostren com les interaccions del nucli o de l'atmosfera amb el mantell terrestres efecten la rotació de la Terra, alhora que permeten determinar els parells que actuen. Esperem d'aquesta manera contribuir a esbrinar les causes de les irregularitats de la velocitat de rotació.

La millora de posicions estel·lars podria varia alguns dels resultats d'aquest treball, si bé no tindria una especial repercusió en l'escala TDB.

Bibliografia

- AOKI, S. GUINOT, B., KAPLAN, G.H., KINOSHITA, H., MCCARTHY, D.D., SEIDELMANN, P.K. 1982. "The New Definition of Universal Time". *Astron. Astrophys.*, 105, 359.
- AOKI, S., SÔMA, M., KINOSHITA, H., INOUE, K. 1983. "Conversion matrix of epoch B1950.0 FK4-based positions of stars to epoch J2000.0 positions in accordance with the new IAU resolutions". *Astron. Astrophys.*, 128, 263.
- APPLEBY, G.M., MORRISON, L.V., WHITE, M.T. 1982. *Royal Greenwich Observatory Butlletins*. Number 192.
- APPLEBY, G.M., MORRISON, L.V. 1983. "Analysis of lunar occultations-V. Grazing occultations 1964-1977". *M.N.R.A.S.*, 205, 57.
- ASTERIADIS, G. 1977. "Determination of Precessions and Galactic Rotation from Proper Motions of the AGK3". *Astr. Astrophys.*, 56, 25.
- BRANDT, V. Eh. 1974. "The influence of the deflection of light by the Sun on clock corrections and latitude". *Soviet Astronomy*, 18, 649.
- BRETAGNON, P. 1980. "Théorie au deuxième ordre des planètes intérieures". *Astron. Astrophys.*, 84, 329.
- BROUWER, D. 1952. "A study of the changes in the rate of the rotation of the Earth". *The Astronomical Journal*, 57, 125.

Bureau International de l'Heure. 1978. "Annual Report". Paris.

CHAPRONT-TOUZÉ, M., CHAPRONT, J. 1983. "The lunar ephemeris ELP2000".

Astron. Astrophys., 124, 50.

du MONT, B. 1978. "A rediscussion of Determinations of Precession and Galactic Rotation from Lick Proper Motions Referred to Galaxies".

Astr. Astrophys., 66, 441.

ECKERT, W.J., JONES, R., CLARK, H.K. 1954. "Improved Lunar Ephemeris 1952-1959". 283, US. Government Printing Office, Washington DC.

Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris and American Ephemeris and Nautical Almanac. 1974. H. M. Nautical Almanac Office. London.

FISCHER, I. 1968. "A modification of the mercury datum, Fischer 1968".

Technical Report n. 67. Army Map Service.

FRICKE, W. 1967. "Precession and Galactic rotation from fundamental proper motions of distant stars". The Astron. Journal, 72, 1368.

FRICKE, W. 1981. "Definition and practical realization of the reference frame in the FK5 - the role of planetary dynamics and stellar kinematics in the definition". Reference Coordinat System for Earth Dynamics, Eds. Gaposchin, E & Kolaczek, B., D. Reidel, Dordrecht. Holland.

FRICKE, W. 1982. "Determination of the Equinox and equator of the FK5". Astron. Astrophys., 107, L13.

- Instituto y Observatorio de la Marina. 1984. "Efemérides Astronómicas 1984".
San Fernando. Cádiz.
- JORDI, C. 1982. "Correcció dels paràmetres del datum de Watts a partir d'observacions fotoelèctriques d'ocultacions d'estrelles per la Lluna".
Càtedra d'Astronomia. Universitat de Barcelona.
- KINOSHITA, H. 1977. "Theory of the Rotation of the Rigid Earth". *Celestial Mechanics*, 15, 277.
- LAUBSCHER, R.E. 1976. "Dinamical Determinations of the General Precession in Longitude". *Astron. Astrophys.*, 51, 13.
- LIESKE, J.H. 1970. "A secular change of the Obliquity of the ecliptic". *Astron. Astrophys.*, 5, 90.
- LIESKE, J.H. 1979. "Precession Matrix Based on IAU(1976) System of Astronomical Constants". *Astron. Astrophys.*, 73, 282.
- LIESKE, J.H., LEDERLE, T., FRICKE, W., MORANDO, B. 1977. "Expressions for the Precession Quantities Based upon the IAU (1976) System of Astronomical Constants". *Astron. Astrophys.*, 58, 1.
- MARKOWITZ, W. 1980. "Dinamical Time". *Mc. Graw-Hill Encyclopedia of Science and Technology*. 5th. edition.
- MARTIN, Ch. 1969. "A study of the rate of rotation of the Earth from occultations of stars by the Moon 1627-1860". PhD dissertation. Yale University.

- MORI, T. 1975. Data Report of Hydrographic Observations. Series of Astronomy and Geodesy, 9, 40. Maritime Safety Agency. Tokio.
- MORRISON, L.V. 1970. "On the orientation of C.B. Watts charts of the marginal zone of the Moon". M.N.R.A.S., 149, 81.
- MORRISON, L.V. 1978. "Catalogue of observations of occultations of stars by the Moon 1943-1971". Royal Greenwich Observatory Bulletins. Number 183.
- MORRISON, L.V. 1979a. "An Analysis of lunar occultations in the years 1943-1974 for corrections to the constants in Brown's theory, the right ascension system of the FK4, and Watts' lunar-profile datum". M.N.R.A.S., 187, 41.
- MORRISON, L.V. 1979b. "Re-determination of the decade fluctuations in the rotation of the Earth in the period 1861-1978". Geophys. J.R. astr. Soc., 58, 349.
- MORRISON, L.V. 1982. "Analysis of lunar occultations - IV. Rotation of FK4 reference frame". M.N.R.A.S., 198, 1119.
- MORRISON, L.V., APPLEBY, G.M.. 1981a. "Systematic corrections to Watts' limb-profiles for the Moon". M.N.R.A.S., 196, 1005.
- MORRISON, L.V., APPLEBY, G.M.. 1981b. "Analysis of lunar occultations-II. Personal equation". M.N.R.A.S., 196, 105.
- MORRISON, L.V., LUKAC, M.R., STEPHENSON, F.R. 1982. Royal Greenwich Butletins (in preparation).

- MORRISON, L.V., STEPHENSON, F.R. 1981. "Determination of 'decade' fluctuations in the Earth's rotation 1620-1978". Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics, 181.
- MORRISON, L.V., WARD, C.G. 1975. "An analysis of the transits of Mercury: 1677-1973". M.N.R.A.S., 173, 183.
- MOYER, Th.D. 1981a. "Transformation from proper time on Earth to coordinate time in solar system barycentric space-time frame of reference. Part I". Celestial Mechanics, 23, 33.
- MOYER, Th.D. 1981b. "Transformation from proper time on Earth to coordinate time in solar system barycentric space-time frame of reference. Part II". Celestial Mechanics, 23, 57.
- NEWCOMB, S. 1898. "Tables of the Sun". Astr. Pap. Vol. 6 Part I i II. Washington.
- NEWHALL, X.X., STANDISH, E.M., WILLIAMS, J.G. 1983. "DE102: a numerically integrated ephemeris of the Moon and planets spanning forty-four centuries". Astron. Astrophys., 125, 150.
- ORTE, A. 1984. "Los relojes atómicos y la relatividad". Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. Tomo LXXVIII, cuaderno 3.
- ORUS, J.J. de. 1966. "Apuntes de Astronomía". Càtedra d'Astronomia. Universitat de Barcelona.

- ROSSELLÓ. 1982. "Corrections to fundamental constants from photoelectric observations of lunar occultations". M.N.R.A.S., 201, 1009.
- ROSSELLÓ, G., CATALÀ, A. 1981. "Influencia de las correcciones de las constantes fundamentales, obtenidas por observaciones, sobre las coordenadas geodésicas de los observatorios". IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica.
- ROSSELLÓ, G., JORDI, C. 1982. "Corrections to Watts' datum from photoelectric occultations". *The Moon and the Planets*, 27, 131.
- SALAZAR, A. 1979. "Correcciones al datum de Watts mediante ocultaciones rasantes de estrellas por la Luna". Càtedra d'Astronomia. Universitat de Barcelona.
- SALAZAR, A. 1985. "Posiciones aparentes de estrellas". Boletín Astronómico n. 8. Instituto y Observatorio de la Marina de San Fernando.
- SEIDELMANN, P.K. 1982. "1980 IAU Theory of Nutation: The final report of the IAU Working Group on Nutation". *Celestial Mechanics*, 27, 79.
- SEVILLA, M.J. 1981. "El Sistema IAU(1976) de Constantes Astronómicas y su repercusión en la reducción de posiciones de estrellas. Primera Parte". Boletín de Información n. 48. Servicio Geográfico del Ejército.
- SEVILLA, M.J. 1983. "El Sistema IAU(1976) de Constantes Astronómicas y su repercusión en la reducción de posiciones de estrellas. Segunda Parte". IV Asamblea Nacional d'Astronomia i Astrofísica.

- SEVILLA, M.J., ROMERO, P. 1983. "Comparación de series de nutación". IV Asamblea Nacional d'Astronomia i Astrofísica.
- SINZI, A.M., SUZUKI, H. 1967. Report of Hydrographic Researches. No. 2, 75. Maritime Safety Agency. Tokio.
- Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog, 1966. US Government Printing Office. Washington, DC.
- SOMA, M. 1985. "An analysis of lunar occultations in the years 1955-1980 using the new lunar ephemeris ELP2000". *Celestial Mechanics*, 35, 45.
- STANDISH, E.M. 1981. "Two differing definition of the Dynamical Equinox and the Mean Obliquity". *Astron. Astrophys.*, 101, L17.
- STANDISH, E.M. 1982a. "The JPL Planetary Ephemerides". *Celestial Mechanics*, 26, 181.
- STANDISH, E.M. 1982b. "Orientation of the JPL Ephemerides, DE200/LE200, to the Dynamical Equinox of J2000". *Astron. Astrophys.*, 114, 297.
- STANDISH, E.M., WILLIAMS, J.G. 1982. Development Ephemeris DE200/LE200. Bande magnetique.
- UAI XVI General Assembly (1976) proceedings. 1977, 49, 67.
- UAI XVII General Assembly (1979) proceedings. 1980, 63, 83.

VAN FLANDERN, T.C. 1970. "Some Notes on the Use of the Watts Limb-profile Charts". The Astronomical Journal, 75, 744.

VAN FLANDERN, T.C. 1971. "Precision Timing of Occultations". Comunicació privada.

WADE, C.M. 1976. VLA Scientific Memorandum 122.

WATTS, C.B. 1963. "The marginal zone of the Moon". Astr. Pap, Washington XVII.

WOOLARD, E.N. (1953). "Theory of the Rotation of the Earth around its Center of Mass". Astron. Papers Am. Ephemeris, 15, 1.

APENDIX I.

Relació d'observatoris i nombre d'ocultacions
observades en cada un d'ells.

N.OBS. SITUACIONOMBRE OBSERV.

1	ALGERIA, ALGIERS OBSERVATORY	311
2	AZORES, PONTA DELGADA	5
4	ARGENTINA, NEAR CORDOBA	1
5	ARGENTINA, BUENOS AIRES	368
6	ARGENTINA, BUENOS AIRES	699
7	ARGENTINA, CORDOBA OBSERVATO	1436
10	ARGENTINA, LA PLATA	1245
11	ARGENTINA, RAFAELA	63
12	ARGENTINA, SAN JUAN	44
13	AUSTRALIA, ADELAIDE	204
14	AUSTRALIA, ADELAIDE	268
15	AUSTRALIA, BRISBANE	1117
16	AUSTRALIA, CASTERTON	388
17	AUSTRALIA, HORNSBY	132
18	AUSTRALIA, NEAR SYDNEY	1297
19	AUSTRALIA, MELBOURNE	505
20	AUSTRALIA, PERTH OBSERVATORY	438
21	AUSTRALIA, SYDNEY	826
22	AUSTRALIA, SYDNEY OBSERVATOR	997
23	AUSTRALIA, TOWNSVILLE	419
25	AUSTRIA, GMUNDEN	183
26	AUSTRIA, GRAZ, UNIV. OBS.	203
27	AUSTRIA, KREMSMUNSTER OBS.	106
28	AUSTRIA, SALZBURG	252
29	AUSTRIA, VIENNA, KUFFNER O	884
30	AUSTRIA, VIENNA	345
31	AUSTRIA, VIENNA	92
32	BELGIUM, HUMBEEK	250
33	BELGIUM, KESSEL-LO	504
34	BELGIUM, BRUSSELS	113
35	BELGIUM, BRUSSELS, R. OBS.	675
36	BELGIUM, WETTEREN	153
37	BERMUDA	54
39	BRAZIL, RECIFE	365
40	BRAZIL, RIO DE JANEIRO	334
41	BRAZIL, RIO DE JANEIRO	328
43	BULGARIA, SOFIA OBS.	113
44	BULGARIA, STARA ZAGORA	44
45	CANADA, CALGARY	133
46	CANADA, UNIV. OF ALBERTA O	20
47	CANADA, EDMONTON	136
48	CANADA, FORT WILLIAM	25
49	CANADA, NEAR TORONTO	67
50	CANADA, VILLE-MARIE OBS.	83
51	CANADA, MONTREAL	77
52	CANADA, MONTREAL	54
53	CANADA, MCGILL UNIV. OBS	435
54	CANADA, MONTREAL	18
55	CANADA, MONTREAL	19
56	CANADA, MONTREAL	22
57	CANADA, MONTREAL	151
58	CANADA, MONTREAL	38
59	CANADA, MONTREAL	289
60	CANADA, OTTAWA DOMINION OB	32
61	CANADA, OTTAWA	13
62	CANADA, OTTAWA	67
63	CANADA, ST. JEAN	119
64	CANADA, VICT. DOMINION OBS	58

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
65	CANADA, VICTORIA	59
66	CHILE, VINA DEL MAR	7
67	CHILE, SANTIAGO UNIV. OBS.	208
68	CHILE, VALPARAISO	108
69	CHILE, VINA DEL MAR	264
70	CHINA, ZO-SE OBSERVATORY	588
71	CHINA, HONG KONG, R. OBS.	17
72	CHINA, SHANGHAI	5
73	COOK IS., RAROTONGA	277
74	CZECHOSLOVAKIA, BRATISLAVA	227
75	CZECHOSLOVAKIA, HLOHOVEC	348
76	CZECHOSLOVAKIA, BRNO UNIV.	374
77	CZECHOSLOVAKIA, BRUNO POLYTE	95
78	CZECHOSLOVAKIA, NOVY JICIN	142
79	CZECHOSLOVAKIA, ONDREJOV OBS	660
80	CZECHOSLOVAKIA, OSTRAVA	208
81	CZECH., PRAGUE CHARLES UNI	228
82	CZECH., PRAGUE PEOPLE'S OB	1073
83	CZECH., PRAGUE TECH. UNIV.	481
84	CZECHOSLOVAKIA, PRAGUE	133
85	CZECHOSLOVAKIA, PRESOV	186
86	CZECH, SKALNATE PLESO OBS.	339
87	CZECHOSLOVAKIA, ROKYCANY	401
88	CZECHOSLOVAKIA, VSETIN	266
89	DENMARK, AARHUS, O. ROMER O	245
91	DENMARK, C'HAGEN URANIA OB	18
92	DENMARK, COPENHAGEN	18
93	DENMARK, COPENHAGEN	786
94	DENMARK, COPENHAGEN	22
95	DENMARK, COPENHAGEN	17
96	DENMARK, COPENHAGEN	127
97	DENMARK, COPENHAGEN	83
98	DENMARK, COPENHAGEN, UNIV.	156
99	DENMARK, COPENHAGEN	39
100	DENMARK, COPENHAGEN	7
101	DENMARK, COPENHAGEN	23
102	DENMARK, BOV NEAR PADBORG	13
103	DENMARK, FREDERICIA	242
104	DENMARK, GENTOFTE	29
105	DENMARK, COPENHAGEN	170
106	DENMARK, HELSINGOR	48
107	DENMARK, HILLEROD	61
108	DENMARK, KOGE	83
109	DENMARK, NYBORG	12
110	DENMARK, RONNE BORNHOLM	95
111	DENMARK, TISVILDELEJE	2153
112	DENMARK, VIBY, JUTLAND	49
113	DENMARK, VEJLE	18
114	DENMARK, VEJLE	13
115	DOMINICAN REP. SANTO DOMIN	11
117	EGYPT, HELWAN OBS.	159
121	ENGLAND, ASCOT	94
122	ENGLAND, ASHAMPSTEAD	155
123	ENGLAND, BEXLEYHEATH	67
124	ENGLAND, BILLINGSHURST	527
125	ENGLAND, BOGNOR, SUSSEX	22
126	ENGLAND, BRISTOL	83
127	ENGLAND, BROUGH	4

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
128	ENGLAND, BRIGHTON	19
129	ENGLAND, BOURNEMOUTH	31
130	ENGLAND, CAMBRIDGE OBS.	960
131	ENGLAND, CHARMOUTH	208
132	ENGLAND, CLEETHORPES	128
133	ENGLAND, CLEETHORPES	266
134	ENGLAND, CROYDON	192
135	ENGLAND, NEAR HERSTMONCEUX	188
136	ENGLAND, GREENWICH, R.OBS.	1995
137	ENGLAND, HAILSHAM	170
138	ENGLAND, HASTINGS	145
139	ENGLAND, HERNE BAY	123
140	ENGLAND, HERSTMONCEUX, R.G.O	455
141	ENGLAND, HORSEBRIDGE	73
142	ENGLAND, HULL	141
143	ENGLAND, IPSWICH	110
144	ENGLAND, LEICESTER	488
145	ENGLAND, LISS	330
146	ENGLAND, LEICESTER	579
147	ENGLAND, LITTLETON	189
148	ENGLAND, LONDON S.W.	201
149	ENGLAND, MAIDSTONE	123
150	ENGLAND, MAIDSTONE	57
151	ENGLAND, NORTHWOOD	46
152	ENGLAND, OXFORD UNIV. OBS.	231
153	ENGLAND, PADSTOW	153
154	ENGLAND, PANGBOURNE	9
155	ENGLAND, STONYHURST COLL. O	109
156	ENGLAND, PLYMOUTH	9
157	ENGLAND, PRESTON, J.H. OBS.	63
158	ENGLAND, RAYLEIGH	6
159	ENGLAND, READING	271
160	ENGLAND, RUGBY TEMPLE OBS.	20
161	ENGLAND, SALISBURY	48
162	ENGLAND, SELSEY	143
163	ENGLAND, STOCKPORT	6
164	ENGLAND, SIDMOUTH LOCKYER O	97
165	ENGLAND, STAPLEFORD	35
166	ENGLAND, STILLINGTON	32
167	ENGLAND, SOUTHGATE	116
168	ENGLAND, THAMES DITTON	9
169	ENGLAND, TUNBRIDGE WELLS	48
170	ENGLAND, WALLINGTON GREEN O	134
171	ENGLAND, TONBRIDGE	10
172	ENGLAND, WALLINGTON	36
173	ENGLAND, WAKEFIELD	100
174	ENGLAND, WIMBLEDON	11
175	ENGLAND, WESTHAM, SUSSEX	857
176	ENGLAND, WEYMOUTH	137
177	ENGLAND, WOOLSTON	149
178	ENGLAND, WOORE	2
180	ENGLAND, WARRINGTON, CHESHIR	3
184	FIJI, SUVA	20
185	FINLAND, KUOPIO (SATURN OB	15
186	FINLAND, LAHTI	16
187	FINLAND, HELSINGFORS UNIV.	95
191	FRANCE, BESANCON, NAT. OBS	874
192	FRANCE, LYONS UNIV. OBS.	202

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
193	FRANCE, PARIS OBSERVATORY	538
194	FRANCE, NICE	586
195	FRANCE, STRASBOURG, UNIV. O	722
196	FRANCE, STURZELBRONN	84
197	FRANCE, TOULOUSE (UNIV. OB	38
198	GERMANY, NEAR DRESDEN	20
199	GERMANY, BAMBERG REMEIS OB	27
200	GERMANY, BERLIN NEUKOLLN	1607
201	GERMANY, ARCHENHOLD OBS.	53
202	GERMANY, DRESDEN	491
203	GERMANY, GEHRDREN	388
204	GERMANY, GRAFING	246
205	GERMANY, HANNOVER GEOD. IN	19
206	GERMANY, HAMBURG OBSERVATORY	397
207	GERMANY, HANNOVER	115
208	GERMANY, HANNOVER	320
209	GERMANY, HANNOVER	71
210	GERMANY, HANNOVER	148
211	GERMANY, HANNOVER	3
212	GERMANY, HANNOVER	17
213	GERMANY, HANNOVER	27
214	GERMANY, HEIDELBERG STATE O	180
216	GERMANY, JENA UNIV. OBS.	181
217	GERMANY, KARLSRUHE	179
218	GERMANY, LANDSHUT	45
219	GERMANY, LUBECK	530
220	GERMANY, LEIPZIG UNIV. OBS	193
221	GERMANY, MARBURG	9
222	GERMANY, MUNICH	20
223	GERMANY, MUNICH UNIV. OBS.	46
224	GERMANY, MUNSTER UNIV. OBS	10
225	GERMANY, POTSDAM GEOD. IN.	341
226	GERMANY, SCHMIDEN/TUTTGART	128
227	GERMANY, SONNEBERG OBS.	1072
228	GERMANY, STUTTGART SWABIAN	597
229	GERMANY, TRAUNSTEIN	5
230	GERMANY, WEIL-DER-STADT	66
231	GERMANY, WURZBURG	2
232	GERMANY, ZEHLENDORF	10
235	GREECE, ATHENS NAT. OBS.	443
236	GREECE, LARISSA	13
238	HAWAII, OAHU EWA BEACH	344
240	HUNGARY, BAJA	7
241	HUNGARY, BUDAPEST KONKOLY	118
243	HUNGARY, O-GYALLA	8
245	INDIA, HYDERABAD NIZAMIAH	847
246	INDIA, MADRAS OBSERVATORY	26
247	INDIA, PUNE	28
248	IRAQ, BASRAH	52
249	IRELAND, ARMAGH OBSERVATORY	45
251	IRELAND, DUBLIN DUNSINK OB	110
252	IRELAND, KENMURE, NEW GALOW	11
253	EIRE, NEW ROSS	50
255	ISRAEL, YAVNE	379
258	ITALY, CHIERI, TURIN	34
259	ITALY, BOLOGNA	292
260	ITALY, MILAN BRERA OBS.	232
261	ITALY, NAPLES CAPODIMONTE O	108

N.OBS. SITUACIONOMBRE OBSERV.

262	ITALY, PADUA OBS.	393
263	ITALY, ROME OBS.	592
264	ITALY, RIETI	200
265	ITALY, TRIESTE OBS.	121
266	ITALY, TURIN OBS.	453
267	ITALY, TURIN	156
268	ITALY, UDINE	129
269	JAVA, BATAVIA	36
270	JAMAICA, KINGSTON	53
272	JAMAICA, LUCEA	22
273	MALAWI, BLANTYRE	234
274	MEXICO, MEXICO D.F.	246
276	NETHERLANDS, LAREN	222
277	NETHERLANDS, AMSTERDAM TILAN	78
278	NETHERLANDS, AMSTERDAM	2
279	NETHERLANDS, AMSTERDAM	12
280	NETHERLANDS, AMSTERDAM	8
283	NETHERLANDS, BEVERWIJK	86
284	NETHERLANDS, BEVERWIJK	283
285	NETHERLANDS, BLARICUM	96
286	NETHERLANDS, BUSSUM	87
287	NETHERLANDS, CULENBORG	1
288	NETHERLANDS, DELFT	23
290	NETHERLANDS, DRIEHUIS-VELSEN	40
291	NETHERLANDS, EINDHOVEN	1
292	NETHERLANDS, EINDHOVEN	18
293	NETHERLANDS, GELEEN	83
294	NETHERLANDS, GRONINGEN KAPTE	52
295	NETHERLANDS, GRAVENZANDE	4
296	NETHERLANDS, GRONINGEN	4
297	NETHERLANDS, GRONINGEN	10
298	NETHERLANDS, HAARLEM	44
299	NETHERLANDS, HARDENBERG	54
301	NETHERLANDS, HARDERWIJK	47
302	NETHERLANDS, HEERLEN	6
303	NETHERLANDS, HEILOO	31
304	NETHERLANDS, HELMOND	62
305	NETHERLANDS, HILVERSUM	8
306	NETHERLANDS, HOENSBROCK	54
307	NETHERLANDS, HOORN	114
308	NETHERLANDS, HOORN	14
309	NETHERLANDS, HUIZEN	134
310	NETHERLANDS, KERBRADÉ	13
311	NETHERLANDS, LEIDEN OBS.	293
312	NETHERLANDS, LEEUWARDEN	9
313	NETHERLANDS, MAASTRICHT	26
314	NETHERLANDS, NIJMEGAN	21
315	NETHERLANDS, NUTH	7
316	NETHERLANDS, OLST	18
318	NETHERLANDS, RIJSWIJK	20
320	NETHERLANDS, SNEEK	170
321	NETHERLANDS, STEIN	100
322	NETHERLANDS, SONNENBORGH OBS	433
323	NETHERLANDS, UTRECHT	21
324	NETHERLANDS, UTRECHT	15
325	NETHERLANDS, VLAARDINGEN	64
327	NETHERLANDS, WEESP	30
329	NETHERLANDS, WIJHE	3
330	NETHERLANDS, WOGNUM	127

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
331	NETHERLANDS, ZIERIKZEE	157
332	NETHERLANDS, ZUTPHEN	4
336	NEW ZEALAND, AUCKLAND	1255
337	NEW ZEALAND, CHRISTCHURCH	695
338	N.Z., DUNEDIN, BEVERLY-BEGG O	575
339	NEW ZEALAND, GORE	143
340	NEW ZEALAND, LOWER HUTT	406
341	NEW ZEALAND, LOWER HUTT	225
342	NEW ZEALAND, NEW PLYMOUTH	174
343	N.Z., WELLINGTON CARTER OBS.	298
344	N.Z., WELLINGTON	44
345	NEW ZEALAND, WELLINGTON	68
346	NEW ZEALAND, WELLINGTON	7
347	NEW ZEALAND, WANGANUI	53
348	NAMIBIA, WINDHOEK	138
350	NIGERIA, ENUGU	58
351	NORWAY, ASKER	52
352	NORWAY, AAMOT, NEAR OSLO	172
353	NORWAY, NEAR OSLO	133
354	NORWAY, OSLO	115
355	NORWAY, TRONDHEIM	77
356	PHILIPPINES, MANILA	1348
357	POLAND, BELKAWE	2
358	POLAND, CRACOW UNIV. OBS.	1896
359	POLAND, CRACOW, FORT SKALA	1081
360	POLAND, POZNAN UNIV. OBS.	748
361	POLAND, TORUN UNIV. OBS.	31
363	POLAND, WARSAW TECH. UNIV.	700
364	POLAND, WROCLAW UNIV. OBS.	230
369	PORTUGAL, LISBON SCIENCES O	195
370	PORTUGAL, LISBON OBSERVATORY	3949
371	PORTUGAL, PORTO UNIV. OBS.	381
374	ZAMBIA, NEAR NDOLA	105
379	RHODESIA, SALISBURY	408
380	RHODESIA, SALISBURY	1401
381	RHODESIA, SALISBURY	1461
382	ST. CROIX	15
383	SCOTLAND, EDINBURGH ROYAL O	129
384	SCOTLAND, CARNOUSTIE	270
385	SCOTLAND, GLASGOW	13
386	SCOTLAND, KETTERIS	5
387	SCOTLAND, STANLEY	19
390	SICILY, PALERMO, ROYAL OBS	4
393	S. AFRICA, BOKSBURG	53
394	S. AFRICA, CAPE, S.A.A.OBS.	4291
395	S. AFRICA, CAPE TOWN	338
396	S. AFRICA, CAPE TOWN	52
397	SOUTH AFRICA, BLOEMFONTEIN	41
398	S. AFRICA, CAPE TOWN	672
399	S.AFRICA, S.A. ASTROPH. OBS	53
400	S. AFRICA, DURBAN	48
401	S. AFRICA, DURBANVILLE, C.P.	623
402	S. AFRICA, CAPE TOWN	12
403	S. AFRICA, GERMISTON	154
404	S. AFRICA, GERMISTON	55
405	S. AFRICA, GRAHAMSTOWN	104
409	S. AFRICA, JOHANNESBURG OBS.	3214
410	S. AFRICA, JOHANNESBURG	348

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
411	S. AFRICA, JOHANNESBURG	22
412	S. AFRICA, JOHANNESBURG	90
414	S. AFRICA, JOHANNESBURG	185
415	S. AFRICA, NEAR TZANEEN	1
416	S. AFRICA, NIGEL TVL.	302
418	S. AFRICA, PORT ELIZABETH	16
420	S. AFRICA, PRETORIA	27
421	S. AFRICA, PRETORIA	196
422	S. AFRICA, RADCLIFFE OBS.	282
423	S. AFRICA, PRETORIA	385
424	S. AFRICA, PRETORIA	33
425	S. AFRICA, PRETORIA	611
426	S. AFRICA, VEREENIGING	126
427	SPAIN, BARCELONA UNIV.	117
428	SPAIN, MADRID OBSERVATORY	481
429	SPAIN, MADRID	57
430	SPAIN, SAN FERNANDO OBS.	4102
432	SRI LANKA, COLOMBO	15
434	SPITZBERGEN, HORNSUND	12
437	SWEDEN, LUND, ROYAL OBS.	6
438	SWEDEN, MALMO	6
439	SWEDEN, MALMO	65
442	SWITZERLAND, BERNE UNIV. O	906
443	SWITZERLAND, ENNETBADEN	297
444	SWITZERLAND, NEUCHATEL	48
445	SWITZERLAND, WALD	485
446	SWITZERLAND, ZOFINGEN	13
447	SWITZERLAND, ZURICH POLY. O	14
449	U.S.S.R., ABASTUMANI OBS.	1057
450	U.S.S.R., ASHKHABAD ASTR. LA	33
451	U.S.S.R., DNEPROPETROVSK	113
452	U.S.S.R., DUSHANBE	91
453	U.S.S.R., IRKUTSK CITY OBS.	118
454	U.S.S.R., IRKUTSK MAGN. STN.	83
455	U.S.S.R., GORKI	141
457	U.S.S.R., KAZAN ENGELHARDT	1083
458	U.S.S.R., KAZAN UNIV. OBS.	1045
459	U.S.S.R., KHARKOV UNIV. OBS.	357
460	U.S.S.R., KIEV UK. AC. OF S	66
461	U.S.S.R., KIEV UNIV. OBS.	1470
462	U.S.S.R., KITAB OBS.	61
463	U.S.S.R., POLTAVA OBS.	1030
464	U.S.S.R., LVOV UNIV. OBS.	255
465	U.S.S.R., PULKOVO OBS.	407
466	U.S.S.R., MOSCOW STERNBERG I	34
467	U.S.S.R., NIKOLAEV OBS.	138
468	U.S.S.R., ODESSA OBS.	139
469	U.S.S.R., RYAZAN	291
470	U.S.S.R., RIGA POLYTECH. OBS	43
471	U.S.S.R., SVERDLOVSK	11
472	U.S.S.R., TALLIN	11
473	U.S.S.R., TARTU(DORPAT)	137
474	U.S.S.R., TASHKENT OBS.	1109
475	U.S.S.R., TOMSK UNIV. OBS.	530
476	U.S.S.R., UL'YANOVSK	235
477	U.S.A., ALBANY, DUDLEY OB(OL	6
478	U.S.A., AMES, FICK OBS.	367
479	U.S.A., ANN ARBOR, MICHIGAN	44

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
480	U.S.A., ALBUQUERQUE, N. MEXICO	8
481	U.S.A., BATON ROUGE UNIV. O	351
482	U.S.A., BELMONT, CALIF.	249
483	U.S.A., BETHANY, CONN.	151
484	U.S.A., CHICAGO	191
485	U.S.A., BARBERTON, OHIO	382
486	U.S.A., BERGENFIELD, N.J.	186
487	U.S.A., BERKELEY, CALIF.	111
488	U.S.A., BOULDER, COLORADO	83
489	U.S.A., BROWNWOOD, TEXAS	1210
490	U.S.A., BURLINGAME, CALIF.	112
491	U.S.A., BUCHANAN, MICHIGAN	289
492	U.S.A., CAMBRIDGE, MASS.	138
493	U.S.A., CAPE KENNEDY, FLO.	337
494	U.S.A., CHARLOTTESVILLE, VA.	125
495	U.S.A., CHEVY CHASE, MD.	31
496	U.S.A., CHINA LAKE, CALIF.	1304
497	U.S.A., CINCINNATI OBS. OHIO	23
498	U.S.A., CINCINNATI, OHIO	155
499	U.S.A., CLEARWATER, FLORIDA	57
500	U.S.A., CLEVELAND HTS., OHIO	56
501	U.S.A., CLEVELAND, OHIO	82
502	U.S.A., WARNER AND SWASEY OB	435
503	U.S.A., COLFAX, CALIFORNIA	988
504	U.S.A., CRANFORD, N.J.	169
505	U.S.A., CONCORD, CALIF.	548
506	U.S.A., DAVIS, CALIFORNIA	233
507	U.S.A., DENVER, CHAMBERLIN O	453
508	U.S.A., DALLAS, TEXAS	394
509	U.S.A., E. HARTFORD, CONN.	160
510	U.S.A., EL PASO, TEXAS	274
511	U.S.A., FALLBROOK, CALIF.	723
512	U.S.A., MCDONALD OBS. TEXA	1872
513	U.S.A., FORT WORTH, TEXAS	72
514	U.S.A., FORT WORTH, TEXAS	490
515	U.S.A., NR. COLFAX, CALIF.	742
516	U.S.A., GREEN BAY, WISCONSIN	383
517	U.S.A., HACIENDA HEIGHTS, CA	955
518	U.S.A., HAMDEN, CONNECTICUT	251
519	U.S.A., HARRISBURG, PENNSYLVAN	70
520	U.S.A., HASTINGS-ON-HUDSON N.	34
521	U.S.A., HAWTHORNE, CALIFORNIA	197
522	U.S.A., INDIANAPOLIS, INDIANA	24
523	U.S.A., INDEPENDENCE, MISSOURI	319
524	U.S.A., JACKSONVILLE, FLORIDA	114
525	U.S.A., KANSAS CITY, MISSOUR	1134
526	U.S.A., LARCHMONT, NEW YORK	102
527	U.S.A., LAS CRUCES, N. MEXIC	223
528	U.S.A., NR. COLUMBUS, OHIO	108
529	U.S.A., LONG BEACH, CALIFORN	117
530	U.S.A., LOS ANGELES	27
531	U.S.A., LOS ANGELES, CALIF.	126
532	U.S.A., LUTHERVILLE, MARYLAND	306
533	U.S.A., LUCERNE VALLEY, CA.	18
534	U.S.A., LUSBY MARYLAND	74
535	U.S.A., MADISON, CONN.	289
536	U.S.A., MAMARONECK, NEW YORK	336
537	U.S.A., MARQUETTE, MICH.	14

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
538	U.S.A., MENOMONI FALLS, WIS.	87
539	U.S.A., MILWAUKEE, WIS.	747
540	U.S.A., MILWAUKEE, WIS.	89
541	U.S.A., MILWAUKEE, WIS.	27
542	U.S.A., MILWAUKEE, WIS.	109
543	U.S.A., MOBERLY, MISSOURI	518
544	U.S.A., MILWAUKEE, WIS.	150
545	U.S.A., LICK OBS., CALIF.	116
546	U.S.A., MOUNTAINSIDE, N. JERSE	471
547	U.S.A., MT. CARMEL, CONN.	179
548	U.S.A., MULLICA HILL, N JERS	158
549	U.S.A., NEW HAVEN, YALE UN	449
550	U.S.A., NEW HAVEN, CONN.	1
551	U.S.A., NORRISTOWN, PENNSYLVAN	76
552	U.S.A., NORWALK, OHIO	115
553	U.S.A., NORTHFIELD, MINNESOTA	26
554	U.S.A., OAKLAND, CHABOT OBS	290
555	U.S.A., OAKLAND GARDENS, N.Y.	454
556	U.S.A., PALO ALTO, CALIF.	475
557	U.S.A., PHOENIX, ARIZONA	333
558	U.S.A., NR. LOS ANGELES	76
559	U.S.A., NR. WARSAW, NEW YO	33
560	U.S.A., POMFRET CONNECTICUT	68
561	U.S.A., N.Y., VASSAR OBS.	32
562	U.S.A., PORTLAND, OREGON	144
563	U.S.A., NR. BRUNSWICK, MAINE	7
564	U.S.A., PRINCETON JUNC., N.J.	222
565	U.S.A., PUEBLO, COLORADO	19
566	U.S.A., REDMOND, OREGON	39
567	U.S.A., RICHMOND, VIRGINIA	28
568	U.S.A., RICHMOND, INDIANA	27
569	U.S.A., RUTHERFORD, N.J.	72
570	U.S.A., ROCHESTER, NEW YORK	155
571	U.S.A., ST. MARYS, PA.	805
572	U.S.A., SAN FERNANDO, CALIF.	342
573	U.S.A., SAN JOSE, CALIF.	1422
574	U.S.A., SANTA FE, N. MEXICO	363
575	U.S.A., SEAL BEACH, CALIF.	198
576	U.S.A., SEATTLE, WASHINGTON	328
577	U.S.A., S.HADLEY, WILLISTON O	575
578	U.S.A., SPRINGFIELD, VERMONT	220
579	U.S.A., STATE COLLEGE, PENN.	690
580	U.S.A., TULARE, CALIFORNIA	211
581	U.S.A., TAMPA, FLORIDA	284
582	U.S.A., TERRE HAUTE, INDIANA	246
583	U.S.A., TUCSON, ARIZONA	812
584	U.S.A., WALTHAM, MASSACHUSETTS	92
585	U.S.A., WA., U.S.NAVAL OBS.	4528
586	U.S.A., WASHINGTON D.C.	852
587	U.S.A., WELLESLEY COLL. MASS	353
588	U.S.A., WESTFIELD, N. JERSEY	200
589	U.S.A., NEWFIELD, MAINE	86
590	U.S.A., YERKES OBS., WISCONS	111
591	U.S.A., WILMINGTON, DELAWARE	110
592	U.S.A., WHITTIER, CALIFORNIA	304
593	U.S.A., WORCESTER, MASS.	298
594	U.S.A., WRIGHTWOOD, CALIF.	337
595	U.S.A., YORK, PA.	197

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACIO</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
596	VENEZUELA, CARCAS	3
598	YUGOSLAVIA, BELGRADE OBS.	1236
599	YUGOSLAVIA, POLA OBSERVATORY	291
600	N.A.D.	26
601	JAPAN, MIYAGI	51
602	JAPAN, AKASHI	17
604	JAPAN, ASAHIGAWA OBS.	289
613	JAPAN, GIFU	21
614	JAPAN, GOI	14
618	JAPAN, HUKUNO	17
619	JAPAN, IKOMA OBSERVATORY	51
620	JAPAN, HATIOZI	70
621	JAPAN, HIMEJI	139
622	JAPAN, IMAKANE	265
623	JAPAN, KATUURA	111
624	JAPAN, KAWASAKI	181
625	JAPAN, KURASIKI OBS.	3380
626	JAPAN, KYOTO IMP. UNIV. O	147
627	JAPAN, KYOTO	13
628	JAPAN, MITAKA, TOKYO OBS.	1553
634	JAPAN, OMIHACHIMAN, SHIGA	130
635	JAPAN, OTA, TOKYO	28
642	JAPAN, SENDAI, HONSHU	59
643	JAPAN, SAPPORO, HOKKAIDO	9
644	JAPAN, TOKYO	25
645	JAPAN, TOKYO	403
646	JAPAN, TOKYO	149
647	JAPAN, SIRAHAMA	6377
648	JAPAN, SUWA	112
649	JAPAN, TANAKAMI, YAMAMOTO O	223
650	JAPAN, TOKYO HYDRO OBS.	508
800	U.S.A.	467
801	U.S.A.	645
802	U.S.A.	577
803	U.S.A.	531
804	U.S.A.	598
806	U.S.A.	393
807	U.S.A.	256
808	U.S.A.	250
809	U.S.A.	297
810	U.S.A.	324
811	U.S.A.	399
812	U.S.A.	242
900	U.S.A.	10
901	U.S.A.	54
902	U.S.A.	25
903	U.S.A.	22
904	U.S.A.	6
905	U.S.A.	50
906	U.S.A.	28
907	U.S.A.	3
910	U.S.A.	27
911	U.S.A.	25
912	U.S.A.	17
915	U.S.A.	28
916	U.S.A.	54
917	U.S.A.	25
918	U.S.A.	14

<u>N.OBS.</u>	<u>SITUACION</u>	<u>NOMBRE OBSERV.</u>
920	U.S.A.	11
921	U.S.A.	17
922	U.S.A.	2
925	U.S.A.	11
926	U.S.A.	2
930	U.S.A.	10
931	U.S.A.	157
932	U.S.A.	38
933	U.S.A.	48
934	U.S.A.	62
935	U.S.A.	19
936	U.S.A.	4
937	U.S.A.	30
938	U.S.A.	41
939	T.H.CAMPBELL	36
940	S.R.DUNLOP	5
941	H.DABOLL	19
942	E.SCHIRMER	36
943	TRUMPP	19
944	M.NAGAO	9
945	J.HUERTAS	19
946	J.HERS	33
947	D.BLANKENSHIP	35
948	J.JOHNSON	6
949	L.YORKSH	51
951	D.RUDKONEN	9
952	J. DUNN	1
953	J.MUINOS	8
954	H. POVEMIRK	12