

DETERMINACION DE MOVIMIENTOS PROPIOS EN LA ZONA DE CORDOBA DE LA CARTA DEL CIELO

G. TORRES y G.J. CARRANZA

Observatorio Astronómico de Córdoba, Córdoba
CONICET

INTRODUCCION

Existen en el Observatorio Astronómico de Córdoba más de un millar de placas fotográficas del Catálogo Astrográfico y Carta del Cielo tomadas a principios de siglo con el telescopio astrográfico. Este material ha adquirido gran valor precisamente por su antigüedad y buen estado de conservación, y el hecho de que el Observatorio de Córdoba cuente con el instrumento original en condiciones de uso plantea el interés en estudiar la utilización de esta rica reserva de información astrométrica, en combinación con placas actuales; con el propósito de determinar movimientos propios estelares; por otra parte, dada la coincidencia de la zona de Córdoba con la región de transición entre dos de los mejores sistemas de movimientos propios absolutos existentes en el sur (Yale y el Cabo), este material ofrece, al mismo tiempo, la posibilidad de controlar el empalme de esos sistemas.

Ha sido completada ya una prueba consistente en el estudio de un campo de la Vía Láctea centrado en $17^{\text{h}} 45^{\text{m}}.2 / -30^{\circ}01$ (1950.0) del cual se obtuvo, en 1981, una placa para combinar con otra de 1913 (ambas de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$), con una diferencia de época de 68 años (ver Tabla). Este lapso permite esperar que los resultados sean representativos, pese a ser derivados de un único par de placas.

Placa	fecha	exp. (seg)	áng. hor.(min)
4711	7/8-VIII-1913	300, 300, reseau	48 W, 54 W
A80078	26/27-VIII-1981	100, 100	48 W, 54 W

Está actualmente en ejecución una segunda prueba basada en un número mayor de pares de placas (al menos cuatro) con una amplia base de tiempo, en la que se espera aprovechar la experiencia adquirida durante la primera prueba, descripta en el presente trabajo.

Mediciones

La medición de las coordenadas rectangulares se llevó a cabo con la máquina Repsold del Observatorio, instrumento de una sola coordenada y operación manual. Cada una de las dos exposiciones fue medida tres veces en dos posiciones de la placa ("directa" e "inversa").

De las 660 estrellas medidas originariamente, 84 fueron descartadas por diversas razones: imágenes superpuestas al reseau (en la placa antigua), imágenes difusas, dobles cercanas, o estrellas con las mediciones "directa" e "inversa" en desacuerdo, probablemente por error de lectura. La dispersión estadística de las mediciones es en ambas coordenadas de aproximadamente 1.2 micrones en la placa nueva y 1.4 micrones en la antigua.

Con el propósito de tomar en cuenta un posible efecto del brillo de las estrellas sobre la posición de las imágenes (Eichhorn, 1963), se llevó a cabo la medición del "diámetro" de cada una de ellas con el fotómetro a iris Askania del Observatorio. El histograma de estos diámetros se muestra en la Fig. I. Una calibración

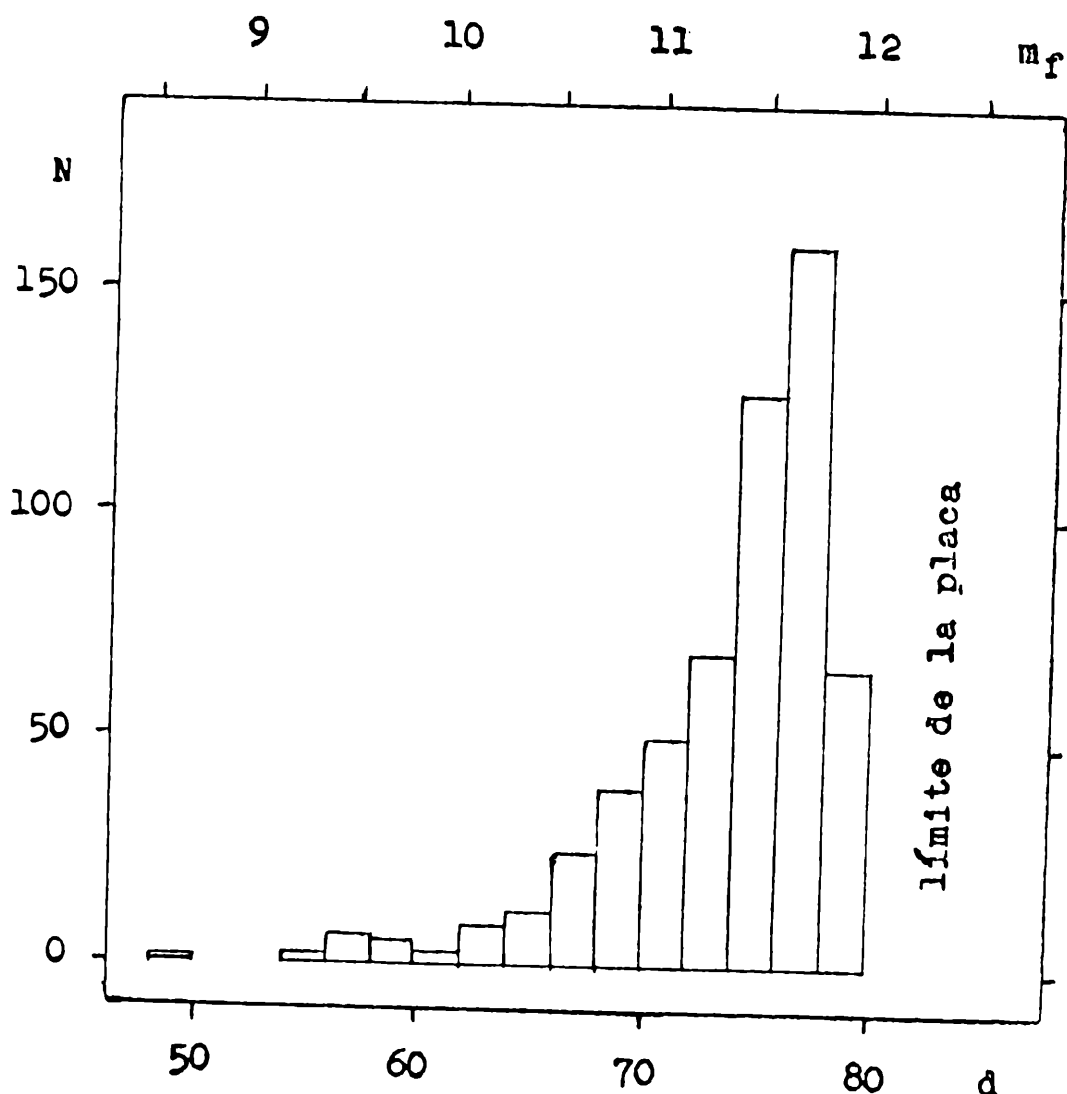


Figura I: Distribución de las imágenes estelares medidas según su diámetro de iris.

aproximada de brillos se obtuvo en base a magnitudes fotográficas tomadas del catálogo del Cabo y del H.D., sin pretender uniformar los sistemas (Fig. II). El límite alcanzado por las placas está cercano a la magnitud 12.

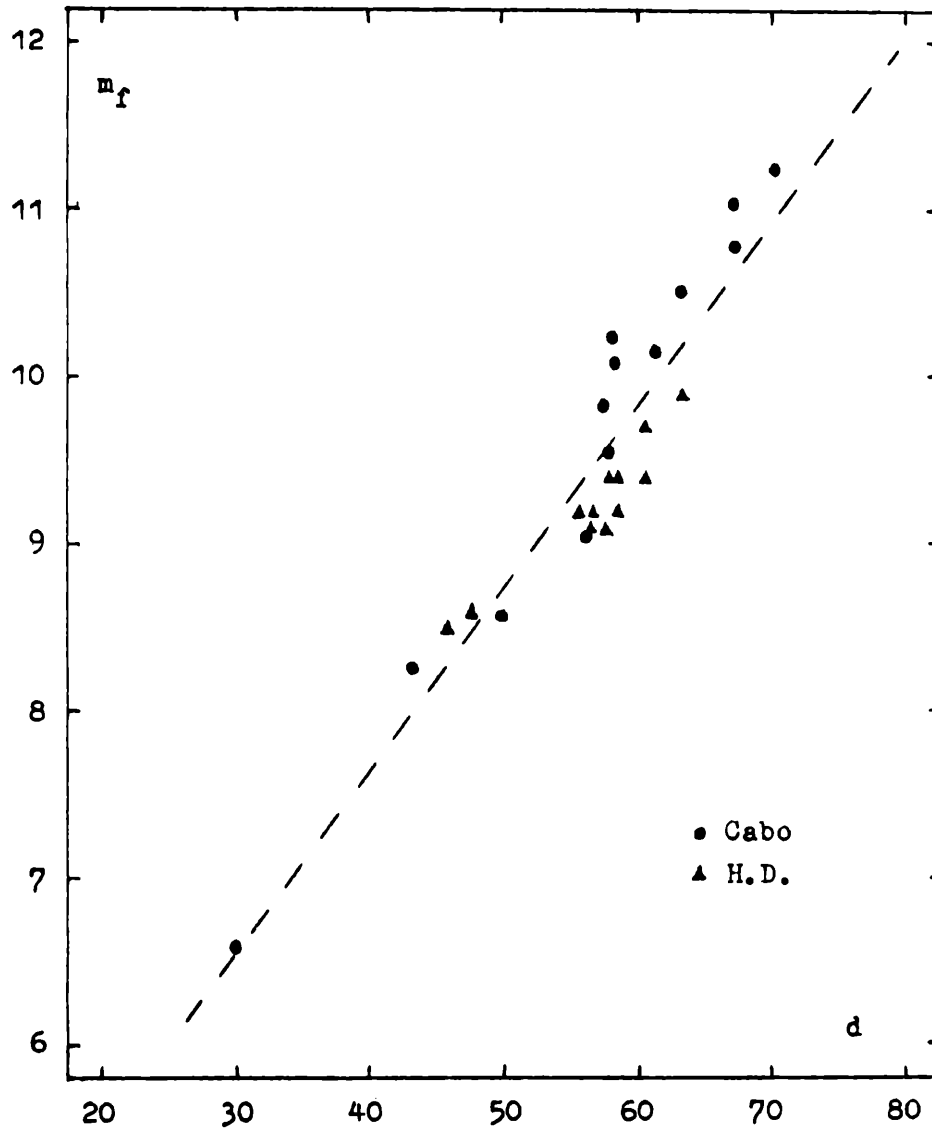


Figura II: Correlación magnitud fotográfica - diámetros de iris.

Reducción

Las ecuaciones empleadas en la práctica en trabajos de este tipo (Eichhorn, 1959; Delhaye, 1966) (reducción de campos aislados, en contraposición con las técnicas de overlap para placas superpuestas) son de la forma:

$$\begin{aligned}x_2 - x_1 &= a_1 + a_2x + a_3y + \text{tér. sup.} + \mu_x \tau \\y_2 - y_1 &= b_1 + b_2x + b_3y + \text{tér. sup.} + \mu_y \tau\end{aligned}\quad (1)$$

donde los subíndices en los primeros miembros corresponden a la primera placa o a la segunda, x e y son las coordenadas rectangulares medidas, τ es la diferencia de época y a_i , b_i son constantes a determinar. Los términos lineales toman en cuenta cambios de origen y efectos diferenciales de rotación, falta de ortogonalidad de los ejes coordenados, variaciones de la escala, aberración y refracción (en primer orden). Los términos superiores (en ciertos casos hasta el tercer orden) representan efectos diferenciales de inclinación de las placas y distorsión de campo.

Las placas utilizadas en este trabajo no presentan imágenes de galaxias (por el límite de magnitud alcanzado y la región estudiada), lo cual impide su utilización como sistema de referencia. Tampoco ha sido posible utilizar en forma directa el sistema definido por los catálogos de movimientos propios absolutos, debido esencialmente a que el número de estrellas de catálogo en el campo no es suficiente para establecer un modelo adecuado para la ecuación (1) por la escasa significación de algunos coeficientes y la falta de simetría de los términos.

Estas circunstancias llevaron a determinar en una primera etapa movimientos propios de carácter relativo. Como es habitual, el sistema de referencia adoptado es el de las estrellas débiles de la placa ($m_f \approx 11.5$ en el presente estudio).

El modelo matemático (ecuación (1)) se ha puesto a prueba durante la reducción analizando la importancia de distintos términos de orden superior (cuadráticos y cúbicos) agregados a los términos lineales clásicos, y también términos dependientes del brillo (coma y ecuación de magnitud). En todos los casos resultaron significativos sólo los términos lineales, en concordancia con la experiencia de otros autores que han trabajado con placas astrográficas (Gatewood, 1967; Clube, 1968). Los términos de brillo no resultaron bien determinados debido al escaso rango en magnitudes de las estrellas consideradas (por construcción del sistema de referencia).

La estabilidad numérica de la solución inicial referida a un sistema de 228 estrellas se estudió tomando tres subconjuntos del mismo y computando para cada uno por separado las constantes de

placa lineales. Los tres grupos de constantes resultaron prácticamente iguales entre sí, e iguales a la solución general.

Con el propósito de disminuir la dispersión intrínseca del sistema de referencia se descartaron las estrellas con residuos superiores a dos veces el error medio de la unidad de peso repitiendo todo el cálculo e iterando el proceso hasta obtener un grupo homogéneo de 134 estrellas débiles. Finalmente, el movimiento propio de todas las estrellas de la placa se refirió al de ese conjunto.

Estimación de errores

Para estimar el error asociado a un movimiento propio relativo se tuvieron en cuenta dos contribuciones (Van de Kamp & Vyssotsky, 1937): a) errores de observación; b) error de las constantes de placa que definen el sistema de referencia.

El error total viene dado por

$$E_{\mu_x}^{rel} = \left[(E_{\mu_x}^{obs})^2 + \frac{1}{N} (E_{\mu_x}^{sist})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

y una ecuación similar para $E_{\mu_x}^{rel}$.

Los errores del tipo a) se han estimado de tres maneras independientes, dos de ellas aprovechando el hecho de que ambas placas tienen dos exposiciones medidas. Un procedimiento consistió en comparar los movimientos propios que resultan de combinar entre sí las primeras exposiciones de cada placa con los que se obtienen combinando las segundas exposiciones (Vyssotsky & Williams, 1948). Otra estimación se obtuvo computando la dispersión de las separaciones entre las dos exposiciones de una misma placa, suponiendo que esas separaciones no dependen de la posición de las imágenes estelares en el campo (Van Rhijn & Plaut, 1955). La máquina de medir Repsold utilizada ofrece una tercera vía a través de un control para cada estrella (suma de las coordenadas "directa" e "inversa") que es una constante instrumental (coordenada del centro del giro) y cuya dispersión es también un índice del error de observación.

Las tres estimaciones de este error son del mismo orden, resultando en promedio

$$E_{\mu_x}^{obs} = 0''.47 \quad , \quad E_{\mu_x}^{obs} = 0''.42 \quad \text{por siglo.}$$

La contribución del sistema de referencia al error total, E_{μ}^{sist} , se ha tomado igual al error medio de la unidad de peso de

los ajustes por mínimos cuadrados (Clube, 1968); el número de estrellas considerado es, sin embargo, suficientemente grande como para hacer que los errores de tipo b) carezcan prácticamente de influencia en la expresión (2).

El error total de un movimiento propio relativo que cabe esperar de la composición de los efectos mencionados es en consecuencia

$$E_{\mu_x}^{rel} = 0".47 \quad , \quad E_{\mu_x}^{rel} = 0".42 \quad \text{por siglo.}$$

Se ha considerado de interés llevar a cabo una aplicación inmediata de los movimientos propios relativos al estudio del cúmulo abierto NGC 6451, contenido en el campo y ubicado a unos 30' del centro de la placa. Se intentó la separación cinemática de las estrellas del cúmulo y estrellas de campo por medio de una representación gráfica de los movimientos propios; sin embargo el análisis no condujo a resultados significativos, debido probablemente a que una discriminación de este tipo requiere movimientos propios de mayor precisión que la que puede obtenerse de un solo par de placas (Vasilevskis, 1962).

Pasaje a un sistema absoluto

La siguiente etapa de este trabajo consistió en el pasaje de los movimientos propios relativos a un sistema absoluto. Previamente debió considerarse la relación entre el sistema de coordenadas instrumentales (x, y) y el ecuatorial (α, δ) , a través de una transformación que implica por un lado un cambio general de orientación (caracterizado por un ángulo γ), y por otro lado una rotación local de los ejes debido a la distorsión producida por la convergencia de los meridianos (Clube, 1968). Ambos efectos pueden ser tomados en cuenta aplicando una corrección a los (μ_x, μ_y) consistente en una rotación de un ángulo

$$\theta = \gamma + x \operatorname{tg} \delta \operatorname{sen} l' \quad (3)$$

con θ en radianes y x en milímetros (o minutos de arco, dada la escala normal del telescopio).

En el presente trabajo el monto de esta corrección no justifica su aplicación dado que afecta a los (μ_x, μ_y) en una cantidad menor que el error E_{μ}^{rel} . Sin embargo, puede ser necesaria en trabajos de mayor precisión, por ejemplo cuando se emplean varios pares de placas.

El campo en estudio está cubierto por mitades por dos sistemas de movimientos propios absolutos, materializados en los catálogos de Yale y del Cabo. Una rápida revisión de las ocho estrellas de la placa, comunes a ambos, sugiere la existencia de diferencias sistemáticas apreciables entre los movimientos propios de uno y otro. Al extender la faja de comparación unos 2° hacia cada lado del campo (manteniendo la declinación) para incluir mayor número de estrellas, se encontraron efectivamente las siguientes diferencias (ver Fig. III):

$$(\mu_C - \mu_Y)_\alpha = -0''.5 \pm 0''.7, \quad (\mu_C - \mu_Y)_\delta = 1''.8 \pm 1''.1 \text{ por siglo.}$$

Tomando como referencia el catálogo del Cabo, se aplicaron estas diferencias a los movimientos propios de las estrellas de Yale (mitad norte de la placa), obteniéndose así un conjunto de 25 estrellas con movimientos absolutos en el sistema del Cabo extendido.

De la comparación de los movimientos propios relativos con los absolutos para estas 25 estrellas, se obtuvieron correcciones C_α , C_δ a aplicar a los movimientos relativos de las restantes estrellas de la placa para expresarlos en el sistema del Cabo.

Si bien los movimientos propios de los catálogos de Yale y del Cabo han sido presumiblemente desafectados de errores sistemáticos dependientes del brillo de las estrellas (Schlesinger & Barney, 1943; Jackson & Stoy, 1954), probablemente los movimientos relativos de este trabajo estén viciados por efectos de este tipo, ya que en la reducción no se obtuvieron valores significativos para los coeficientes de los términos de coma y ecuación de magnitud y por lo tanto no se incluyeron.

Precisamente, con el objeto de evaluar posibles tendencias sistemáticas se han estudiado los valores de C_α y C_δ en función de parámetros de campo y brillo. En el primer caso la correlación resultó esencialmente nula (ver Fig. IV), indicando que el ajuste con términos lineales en x y en y es adecuado; la representación de C_α y C_δ contra el diámetro de iris, en cambio, sugiere tal como era de esperar cierta tendencia decreciente con el brillo (Fig. V). Pese a la gran dispersión de los puntos en la última figura, se consideró conveniente tomar en cuenta el efecto, sin perder de vista su carácter estrictamente estadístico.

Aplicada esta corrección, se obtuvieron finalmente movimientos propios preliminares para 576 estrellas, expresados en el sistema absoluto del Cabo (FK3).

Esta última etapa del cálculo introduce una nueva fuente de error que debe sumarse cuadráticamente al error de los movimientos propios relativos (Vyssotsky, 1954). De esta manera, el error total de un movimiento propio absoluto resulta en este trabajo de $0''.7$ por siglo en ambas componentes (μ_α , μ_δ).

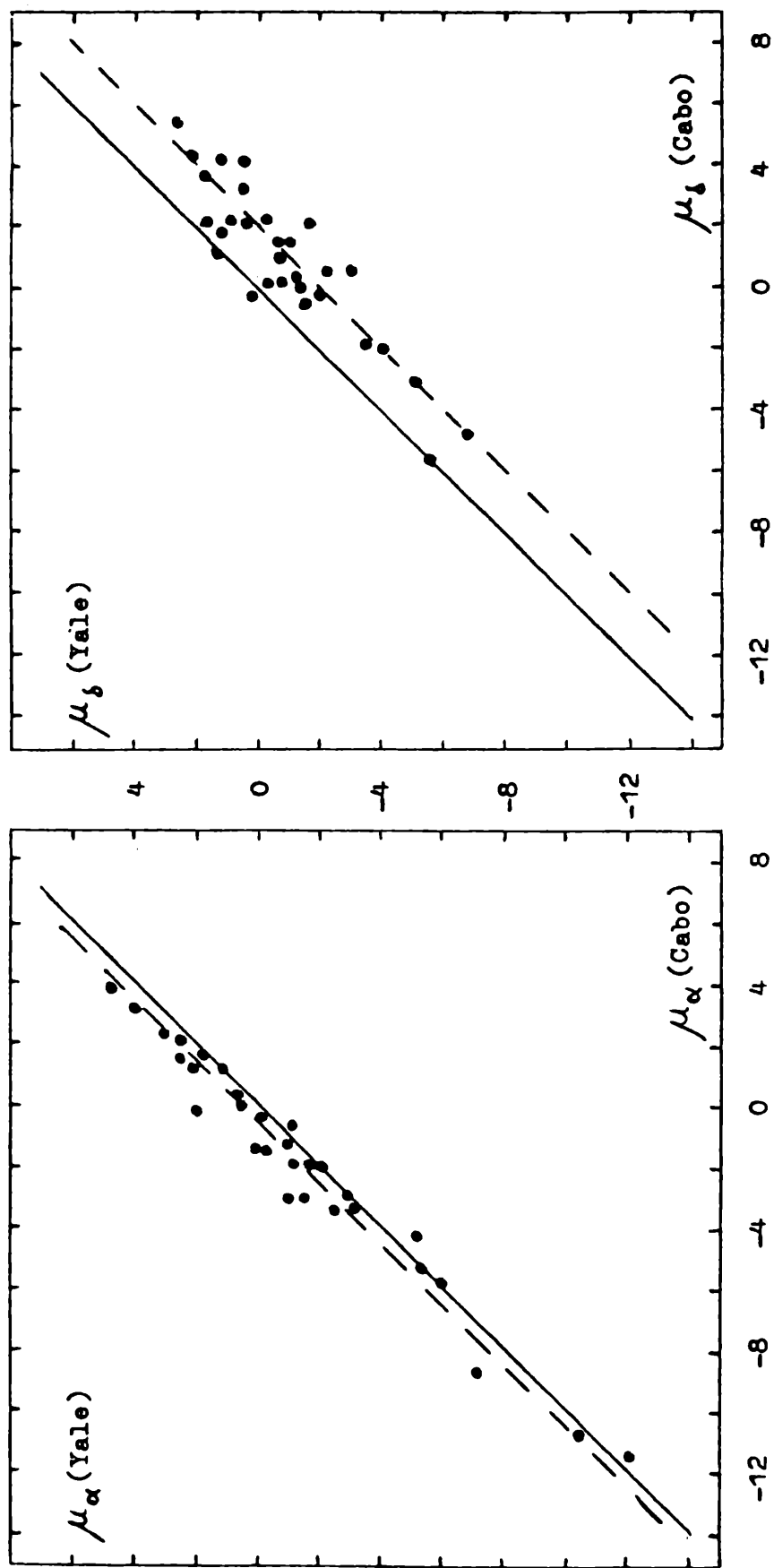


Fig. III: Relación entre los movimientos propios del Cabo y de Yale (en "/siglo). Las líneas continuas se han trazado con una inclinación de 45° y pasan por el origen, y las líneas discontinuas representan las paralelas que mejor se ajustan a los puntos.

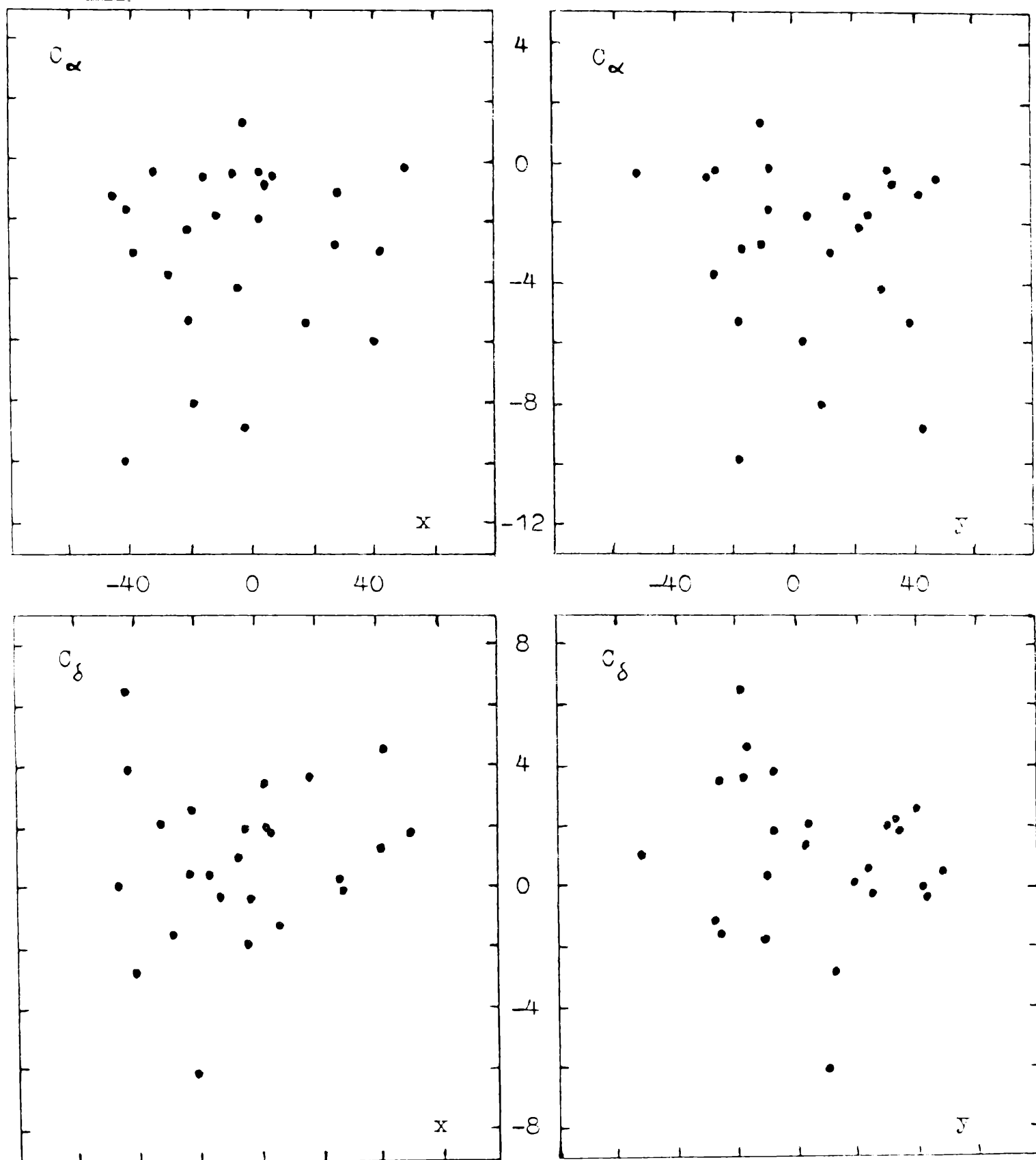


Fig. IV: Efectos de campo en las correcciones sistemáticas C_α y C_δ ; (x,y) en milímetros y (C_α, C_δ) en "/siglo.

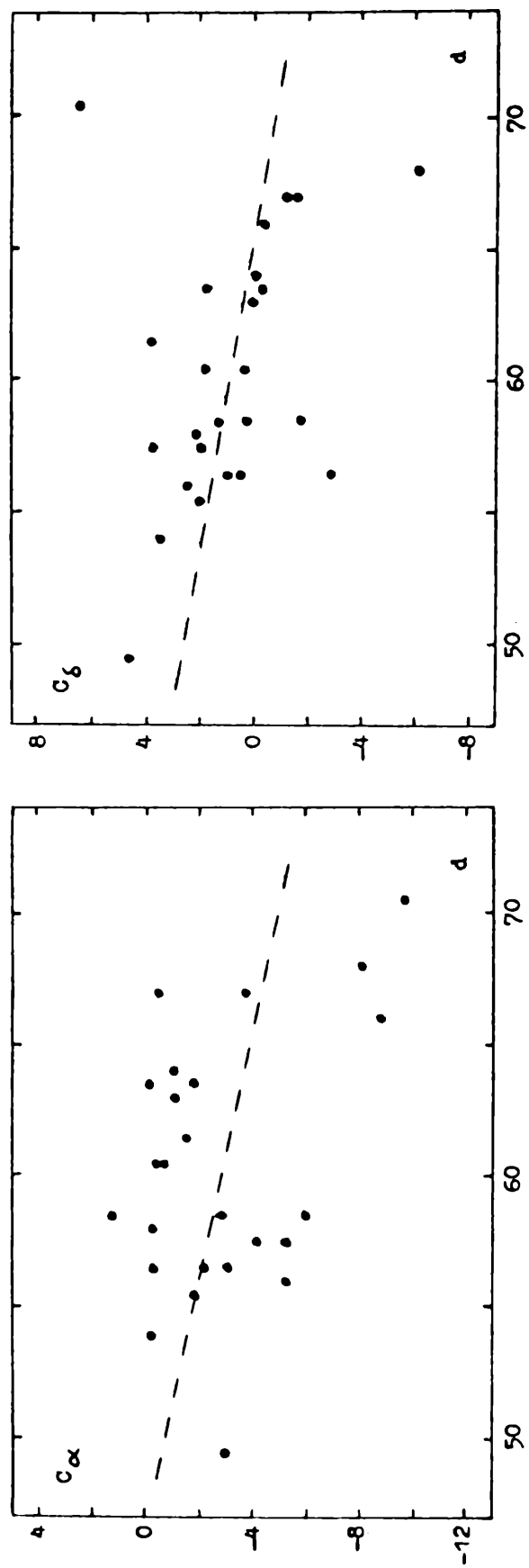


Fig. V: Efecto de magnitud en las correcciones sistemáticas C_α y C_δ (en "/siglo).

Debe advertirse, sin embargo, que estos movimientos pierden algo de significado a nivel individual, pues la sistematicidad de las correcciones para pasar al sistema absoluto es poco fiable, en parte por las particularidades de la región estudiada.

Conclusiones

Uno de los objetivos primarios de este trabajo consistió en poner a punto la metodología a aplicar para la determinación de movimientos propios fotográficos, utilizando como material de primera época placas del Catálogo Astrográfico y Carta del Cielo. En relación a ésto, y considerando el límite en brillo alcanzado por las placas, se ha constatado que un conjunto del orden de un centenar de estrellas con $m_f \sim 11$ proporciona un sistema de referencia adecuado para obtener movimientos propios relativos, si se tiene la precaución de descartar aquellas con residuos grandes.

Asimismo, la inclusión de los términos lineales clásicos en las ecuaciones de reducción ha resultado suficiente para lograr una buena representación de las diferencias $x_2 - x_1$ y $y_2 - y_1$ en función de x e y .

Por otra parte, se desprende de este estudio que el material de placas empleado es perfectamente utilizable para el fin propuesto, con niveles de precisión comparables a los usuales en este tipo de trabajos (Jones & Jackson, 1936; Paloque et al., 1958, 1959, 1961).

Actualmente está en estudio un segundo campo centrado en $13^h 36^m 8 / -31^\circ 15'$ (1950.0) del que se han obtenido en 1982 cinco placas nuevas para combinar con otras tantas del Catálogo Astrográfico y Carta del Cielo, con diferencia de épocas de entre 59 y 78 años.

La medición de coordenadas rectangulares se lleva a cabo con una máquina de medir de dos coordenadas, de mayor versatilidad que la Repsold y de precisión similar: la dispersión estadística es del orden de 1.5 a 2 micrones en ambas coordenadas.

Se espera sacar mayor provecho de la información contenida en las placas tomando en cuenta todas las imágenes medibles de cada estrella con el propósito de reducir el efecto de magnitud. Se tiene previsto asimismo hacer un estudio del error de bisección de las lecturas en función de un indicador de brillo (diámetro de iris) y se planea introducir algunas modificaciones en el método de reducción, particularmente en lo referente al pasaje de los movimientos propios relativos a un sistema absoluto.

Referencias

- Clube, S.V.M.: 1968, Royal Observatory Bulletin N° 136.
- Delhayé, J.: 1966, Cours d'Eté d'Aix en Provence.
- Eichhorn, H.: 1959, A.J. 64, 2.
- Eichhorn, H.: 1963, Van VTeck Observatory Reprint N° 8.
- Gatewood, G.D.: 1967, Astronomical Contributions from the University of South Florida at Tampa, N° 9, 189.
- Jackson, J.; Stoy, R.H.: 1954, Annals of the Cape Observatory, Vol. XVII.
- Jones, H.; Spencer, Jackson, J.: 1936, Proper Motions of Stars in the Zone Catalogue of 20843 Stars 1900.0, Zone -40° to -52° .
- Paloque, E.; Borthomieu, H.; Pretre, P.; Marthe Reynis: 1958, Toulouse Annals 26, 7.
- Paloque, E.; Pretre, P.; Marthe Reynis: 1959, Toulouse Annals 27, 7.
- Paloque, E.; Pretre, P.; Marthe Reynis: 1961: Toulouse Annals 28, 7.
- Schlesinger, F.; Barney, I.: 1943, Trans. of the Astron. Obs. of Yale University, Vol. XII, Part II.
- Van de Kamp, P.; Vyssotsky, A.N.: 1937, Publications of the Leander McCormick Observatory, Vol. 7, 45.
- Van Rhijn, P.J.; Plaut, L.: 1955, Publications of the Kapteyn Astronomical Laboratory at Groningen, N° 56.
- Vasilevskis, S.: 1962, A.J. 67, 699.
- Vyssotsky, A.N.: 1954, A.J. 59, 52.
- Vyssotsky, A.N.; Williams, E.T.R.: 1948, Publications of the Leander McCormick Observatory, Vol. 10, 3.