

ANALISIS DEL CAMPO DE DISTORSION DEL CATALOGO  
ASTROGRAFICO

J. Stock y C. Abad

Centro de Investigaciones de Astronomía  
Mérida, Venezuela

**ABSTRACT.** The method for the reduction of astrometric plates proposed by Stock (1980) was extended to include the determination of field distortion. In a project in collaboration with the Hamburg Observatory the method was applied to two groups of plates of the Astrographic Catalogue, including part of the Paris-, Oxford-, Postsdam-, and Helsingfors zones. The results prove the existence of various types of systematic errors of the measured coordinates, principally a radial distortion which is function of the distance from the plate center, with a second component which also depends on the magnitude of the objects. Also it becomes apparent that in all of these zones the Y-axes are not perpendicular to the X-axes.

The results also show that positions with a mean error of about 0.2 arcseconds can be derived from the Astrographic Catalogue. Using the AGK3 as reference system and as third epoch, the AGK2 being the second epoch, proper motions were obtained for about 3000 stars, with a mean error of approximately 3 milliarcseconds per year. These proper motions have led to the discovery of a number of double stars of wide separation, whose physical nature is established by the common proper motion.

**Key words:** ASTROMETRY — CATALOGUES — POSITIONS

## I. INTRODUCCION

La mayoría de las posiciones de objetos celestes que hoy en día se conocen con precisión fué obtenida con métodos fotográficos. El AGK3 para el hemisferio norte y los catálogos de Yale y del Cabo para el hemisferio sur son las fuentes más extensas y usadas, pero existen otras. Evidentemente las posiciones mismas no son realmente los datos que se requieren para la interpretación en términos de temas como la rotación galáctica, movimientos de cúmulos, etc. Son más bien las variaciones de las posiciones con el tiempo los datos que contienen la información requerida. Por esta razón los catálogos mencionados se basan en observaciones reallizadas en diferentes "épocas", para así poder dar también los "movimientos propios". La precisión conque se obtienen estos movimientos propios depende entre otras cosas del tiempo transcurrido entre las dos épocas, pero eso no es todo. Placas fotográficas no se autocalibran. Deben contener imágenes de objetos con posiciones conocidas para la fecha de la toma de la misma, o sea, estrellas de referencia. Estas posiciones de referencia tienen que ser obtenidas con otros métodos e instrumentos como por ejemplo círculos meridianos. Posiciones "fundamentales" de este tipo están contenidas en el Catálogo Fundamental FK4 (siendo este su cuarta versión). El FK4 contiene 1601 estrellas, agregándose a estas unos otros 2001 en sus suplementos. Esto conduce a una densidad de estrellas de referencia de aproximadamente una estrella para cada doce grados cuadrados. Por otra parte, placas astrográficas cubren, según el telescopio, de un grado cuadrado hasta cincuenta grados cuadrados. Esto quiere decir que placas astrográficas contendrán pocas o a lo mejor ninguna estrella de referencia. La reducción de una placa requiere un mínimo de tres estrellas de referencia para poder determinar su orientación y su escala de proyección. Incluso, cuando hay que contar con deformaciones o distorsiones, se requiere un número mayor de estrellas de referencia.

Este dilema se ha atacado por dos vías. En primer lugar se han utilizado círculos meridianos para densificar la red de referencia, y a la vez extenderla a estrellas más débiles. Con estos fines se produjo por ejemplo el catálogo Perth 70. Lógicamente, este no logra

la misma precisión del FK4 y por lo tanto pierde su utilidad para placas cuyas épocas difieren mucho de la época del mencionado catálogo. Por otra parte, existe la posibilidad de reducir simultáneamente placas que tienen traslapo entre sí, como fué propuesto por primera vez por Eichhorn (1960). Hoy en día existen varios esquemas de reducción simultánea. Un método propuesto por Stock (1981) simplificó considerablemente el método original. Otro método un tanto distinto ha sido propuesto recientemente por Jefferys (1986).

La solución definitiva en cuanto al sistema de referencia, sin embargo, va a ser otra. En pocos años más HIPPARCOS proporcionará posiciones de la más alta precisión y en un sistema libre de errores sistemáticos para unas cien mil estrellas. Estas posiciones junto con el método de reducción simultánea darán la forma definitiva a los resultados de todas las observaciones astrográficas realizadas hasta la fecha. Lo que hay que hacer por el momento es desarrollar, probar y refinrar los métodos a emplear, y preparar los datos para la fecha cuando se disponga de los resultados de HIPPARCOS.

## 2. LA DISTORSION

La relación entre coordenadas cartesianas medidas sobre una placa y las coordenadas ecuatoriales para los mismos objetos se escribe en unas ecuaciones que contienen una serie de coeficientes. Estos coeficientes se calibran con la ayuda de los objetos de referencia para las cuales se dispone de ambos tipos de coordenadas. La expresión más simple posible contiene tres coeficientes, requiriendo así un mínimo de tres objetos de referencia. Dados los errores etc., en ambos tipos de coordenadas, lógicamente es deseable basar la calibración en un mayor número de objetos. En la mayoría de los casos una expresión simple con pocas constantes no es suficiente para describir la relación entre coordenadas planas y esféricas. Es necesario agregar más términos que suelen ser llamadas distorsión, aún cuando este nombre no es el más adecuado. Estas distorsiones pueden ser de simetría circular y se pueden describir como función del radio sobre la placa (distancia del centro), pueden depender a la vez de la magnitud del objeto, agregándose así una variable más, tal vez hasta del color, agregando otra variable más. Sobre todo cuando existe un desajuste de las componentes ópticas se producen distorsiones que tienen una componente que no demuestra simetría circular. La cantidad de constantes que hay que agregar oscila en la práctica desde una o dos hasta diez o más. En esta forma se abulta enormemente el número de incógnitas cuando uno trata de determinar estas constantes placa por placa. Sin embargo, cuando se puede considerar que estas constantes adicionales sean las mismas para todas las placas tomadas con el mismo telescopio (si es necesario restringiendo también el período de la toma de las placas), el número total de incógnitas para todo un grupo de placas varía insignificantemente cuando se agrega la distorsión, sobre todo cuando el número de placas es grande. Obviamente para esto se presta mucho el método de reducción simultánea de placas ya mencionado.

Términos de distorsión pueden ser introducidos en muchas formas. Damos solamente algunos ejemplos. La forma más conocida, no necesariamente la más práctica, es expresar la distorsión como una corrección a las coordenadas medidas X y Y. La distorsión de simetría circular sin dependencia de la magnitud tiene la forma

$$(1) \quad \Delta X = \frac{X}{R} R^3 d \quad (2) \quad \Delta Y = \frac{Y}{R} R^3 d$$

con

$$(3) \quad R = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

siendo d la constante de distorsión. Una corrección que depende de la magnitud m puede tener la forma

$$(4) \quad \Delta X = \frac{X}{R} R^2 (m - m_0) e$$

y otra ecuación semejante para  $\Delta Y$ , donde e es la constante de distorsión, y  $m_0$  una constante arbitraria. La forma más simple de describir una distorsión no simétrica es permitir que por ejemplo en las ecuaciones (1) y (2) la constante d no sea igual en ambas ecuaciones. Lógicamente las ecuaciones para  $\Delta X$  y  $\Delta Y$  pueden tener varios términos, la dependencia de la magnitud no tiene que ser necesariamente lineal, pueden ocurrir los términos d y e simultáneamente, etc.

### 3. LOS CATALOGOS EXISTENTES

#### A. El Catálogo Astrográfico

A fines del siglo pasado se decidió cubrir todo el cielo con placas astrométricamente usables. Este proyecto, también conocido como Carte du Ciel, fué repartido entre muchos observatorios, usando todos el mismo tipo de telescopio. La mayor parte del plan fué cumplida. Algunos observatorios hasta concluyeron su compromiso antes del fin del siglo. La mayor parte de estas placas también ya están medidas. Se han hecho intentos aislados de convertir parte de este Catálogo Astrográfico en coordenadas astronómicas, pero sin mayores consecuencias. Un sistema de referencia adecuado, y falta de un método eficaz para el trato simultáneo de muchas placas han sido la causa de la demora. Hoy en día se puede proceder a reducir el AC, ya que en el FK4, y luego en su sucesor, el FK5, poseemos un sistema de referencia aceptable, y tenemos la esperanza de tener un sistema mejor aún en los datos que arrojará HIPPARCOS.

En un trabajo conjunto con el Observatorio de Hamburgo hemos procedido a reducir los datos del AC en dos áreas diferentes. Uno de ellos comprende 167 placas que pertenecen a las zonas de París, Oxford, y Potsdam. La otra área contiene 42 placas, todas de la zona de Helsingfors. Como sistema de referencia hemos usado dos opciones: reducir el AC, usando el AGK3 como sistema de referencia, o usando el FK4 como sistema de referencia. Resultó que la segunda opción no era aplicable al área 2, ya que contiene un número insuficiente de estrellas del FK4. Para el área 1 encontramos 1860 estrellas del AGK3, y 31 estrellas del FK4. Los resultados demuestran que en primer lugar la precisión de la medición de una sola imagen varía de zona a zona, siendo de aproximadamente 0.20 segundos de arco en los mejores casos, y cerca de 0.3 segundos de arco en zonas de menor precisión interna. También existe en todas las zonas una dependencia de la precisión interna de la magnitud, siendo las posiciones de los objetos más brillantes las menos precisas. Igualmente, hemos podido determinar para las cuatro zonas analizadas sus términos de distorsión, que claramente son distintas de zona a zona. La idea, evidentemente, es de liberar todas las coordenadas X y Y en el AC por los respectivos efectos de distorsión, para poder usarlos posteriormente en cálculos simultáneos de muchas placas sin tener que preocuparse de distorsión.

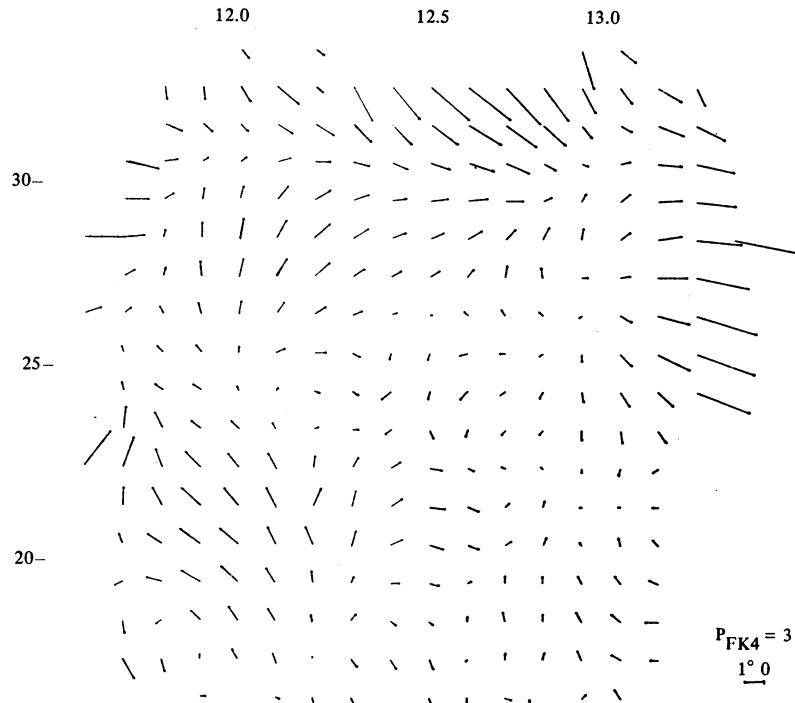


Fig. 1. Representación de los errores sistemáticos entre catálogos AGK3 y FK4 al promediar por zonas de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  las posiciones de las estrellas obtenidas en la reducción del área 1a.

Para el área 1 hemos podido intercomparar los resultados obtenidos con el AGK3 con la solución obtenida con el FK4. Para el último también era importante definir el peso con que entraban los datos del FK4 en el cálculo. La Fig. 1 dá en forma de flechas la diferencia entre las dos soluciones para un cierto peso para el FK4. Las flechas largas en las orillas del campo son inherentes del método que puede dar soluciones confiables solamente para su interior. Para una placa dada se obtienen los resultados definitivos cuando ella se reduce conjuntamente con todas las demás placas que tienen un traslapo con ella. Esto obviamente no es el caso para placas en la orilla del campo, ya que existen placas más allá pero no están contenidas en esta muestra. Aún así se ven flechas bastante más largas que la precisión de los datos, reflejando las diferencias sistemáticas entre el FK4 y el AGK3, ambos al nivel de 1896.0.

#### B. AGK3, Yale, Cabo

La reducción de estos catálogos se realizó solamente en un caso (AGK3) en forma simultánea para conjuntos de placas pero no en la forma tan amplia como es posible hoy en día. Los otros dos catálogos fueron reducidos placa por placa. Esto quiere decir que realmente será deseable intentar una nueva reducción con los métodos más modernos. Desafortunadamente los datos originales ( $X$  y  $Y$ ) ya no están disponibles o por lo menos ya no legibles por una computadora. La idea de un nuevo teclaje de las mediciones no es atractiva. Por otra parte, los resultados de estas placas ya están disponibles en los respectivos catálogos. Lógicamente, en ellos se mezclan los datos provenientes de distintas placas. Sin embargo, parece factible buscar la diferencia sistemática de las posiciones que existe entre estos catálogos y las coordenadas de por ejemplo HIPPARCOS, y aplicar estas diferencias al catálogo directamente, siempre y cuando estas diferencias pueden ser descritas como una función de ascensión recta y declinación. Los datos de HIPPARCOS no existen todavía. Sin embargo, se puede hacer una especie de un simulacro. Existe una versión mejorada del AGK3 (a base de observaciones con círculo meridiano recientes) conocida como AGK3RN. Se pueden reducir una serie de placas con ambos sistemas de referencia, y suponer que el AGK3RN va a ser idéntico al sistema HIPPARCOS (que es perfectamente posible). La diferencia entre ambas reducciones será una demostración de la diferencia entre los dos catálogos. Como material observacional usamos una serie de doce placas, cada una con dos exposiciones, que cubren seis campos adyacentes con un traslapo parcial tomadas recientemente con el astrógrafo del Observatorio de Hamburgo. Estas placas fueron medidas con una PDS, dando así una precisión mejor que un micron. Las diferencias entre las dos reducciones se demuestran en la Fig. 2. Al respecto de esta figura es sistemático y altamente estructurado. Una descripción matemática de estas correcciones como función sencilla de ascensión recta y declinación no parece posible. La técnica más adecuada parece ser el empleo de funciones spline.

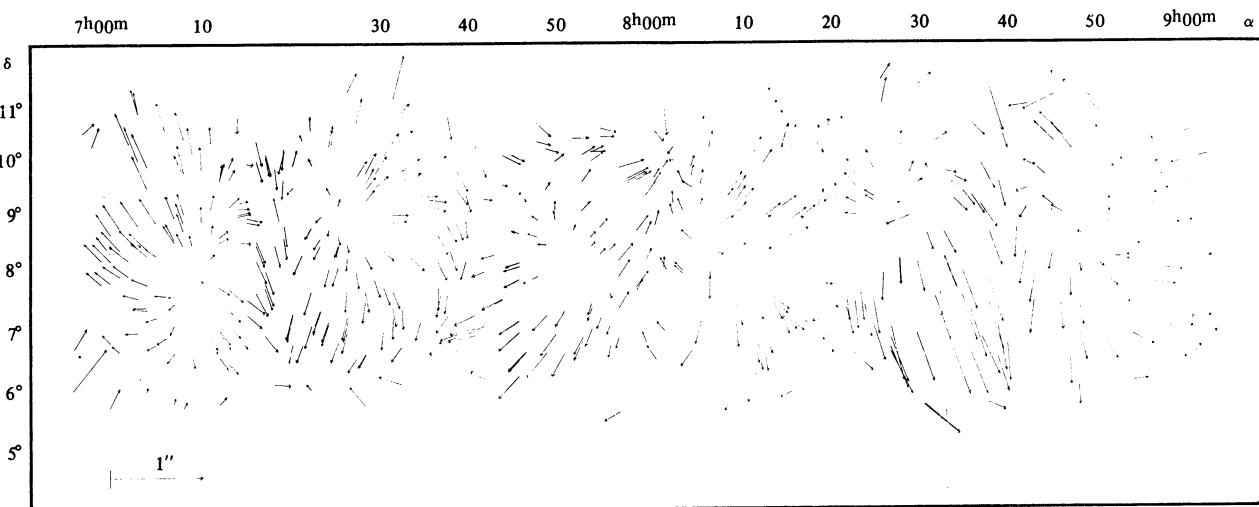


Fig. 2. Representación de los errores sistemáticos entre los catálogos AGK3 y AGK3RN.

## 5. RESULTADOS

La reducción de dos áreas del AC arrojó posiciones para un total de más de 16000 estrellas. Para aquellas que también están contenidas en el AGK3 se pueden derivar movimientos propios a base de tres épocas, siendo una la del AC (aproximadamente 1896), otra la del AGK2 (1930), y finalmente el AGK3 propiamente tal con una época media de 1958. Los movimientos hallados tienen errores medios de aproximadamente 0.0026 segundos de arco por año, una cifra bastante cerca de lo que se espera de HIPPARCOS.

A parte de aplicaciones de los movimientos propios en cuanto a rotación galáctica, cúmulos, etc. también nos han servido para establecer la naturaleza física de algunas estrellas dobles de mucha separación. La gran mayoría de las estrellas dobles visuales conocidas tienen separaciones de pocos segundos de arco. Para pares de mucha separación normalmente se descarta la posibilidad de estrellas acopladas por la gravedad mutua. Un criterio para que estas estrellas puedan ser pares físicos es que tendrán que compartir el movimiento propio, y es esto precisamente lo que hemos analizado en nuestro catálogo de movimientos propios que contiene un total de 2890 estrellas, ambas áreas combinadas. Hemos fijado una separación máxima de tres minutos de arco y buscado todos los pares que existen en ambas áreas. Resulta que un número considerable de ellas tienen movimiento común. Esto quiere decir que aún a separaciones que significan períodos de muchos miles de años existen y persisten una cantidad apreciable de estrellas dobles en el alrededor del sol.

Agradecimiento al Dr. De Veigh del Observatorio de Hamburgo quien nos facilitó en una versión legible por computadora todos los datos empíricos que se han usado en este trabajo; igualmente al Centro Científico de la IBM en Caracas por permitir la utilización de su computadora

## REFERENCIAS

- Eichhorn, H. 1960, Astr. Nachr., 285, 233  
 Stock J. 1981, Rev. Mexicana Astron. Astrof., 6, 115-118  
 Jefferys, W. 1986, A. J. in press

## DISCUSION

BRUZUAL: ¿Piensan publicar el catálogo final? ¿Cómo se puede tener acceso al mismo?

ABAD: En principio se piensa publicar como publicación interna de nuestra institución. La forma de acceder a éstas es simplemente poniéndose en contacto con el CIDA en Venezuela.

BENEVIDES-SOARES: No he entendido si han medido las placas de nuevo, y si no, si tienen alguna idea de los errores originales de medición.

ABAD: Las coordenadas rectangulares ( $x, y$ ) de los objetos de las placas están publicadas en catálogos. Errores de falta de perpendicularidad de los ejes de medición fueron detectados durante el desarrollo de nuestros cálculos, errores que por otro lado, son absorbidos por la solución lineal encontrada.

C. Abad and J. Stock: Centro de Investigaciones de Astronomía, (CIDA), Apartado Postal 264, Mérida 5101-A, Venezuela.