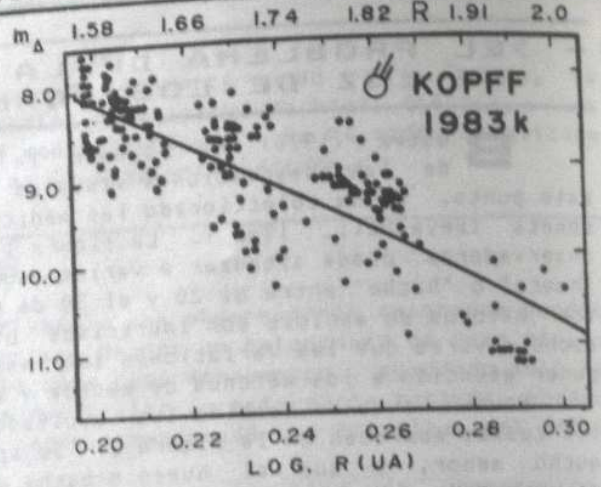

Figura 3. Medidas de la luminosidad del cometa Kopff 1983 K. Se podría pensar que a estas alturas (1985) el problema de medir el brillo de los cometas visualmente estaría resuelto. La enorme dispersión de 2 magnitudes, indica todo lo contrario.

según se concluye de la Figura 3, la cual muestra medidas visuales del cometa *Kopff, 1983 k.* ¡La dispersión alcanza a 2 magnitudes! El error es por tanto cercano a ± 0.7 magnitudes.

Por todos estos defectos es que tenemos que prestarle atención a los métodos de medición, y a su calibración y prueba. De otro modo corremos el riesgo de estar generando información ficticia. Nuestro problema es producir una "buena curva de luz" de los cometas, que sea una "historia confiable" de su comportamiento luminoso.

– EL METODO DE BEYER

Hasta ahora hemos considerado tres métodos de obtener una estimación del brillo de un cometa en el cielo: el de Bobrovnikkov, el de Sidgwick, y el de Morris. Todos se basan en la comparación de la imagen del cometa con estrellas desenfocadas. Veamos ahora un cuarto método que parece promisor.

Max Beyer es un profesor de escuela, alemán, que es aficionado a la Astronomía. Desde 1921 ha logrado acumular unas 3000 observaciones de 119 cometas diferentes. Probablemente posee el récord en la observación de estos objetos, al menos en este siglo. Durante ese largo intervalo utilizó un método de medición diferente a los anteriores. Beyer lo describe de la siguiente manera (1953):

"El principal objetivo de mi trabajo era hacer estimaciones confiables del brillo total de la coma. Puesto que los cometas son objetos extensos y nebulosos, una comparación directa de su brillo con el de las estrellas, tiene sus dificultades. Discos extrafocales de estrellas pueden ser comparados fácilmente con nebulosas o cometas, pero es obvio que se tendrán resultados confiables, sólo si la coma tiene el mismo diámetro que el disco de la estrella, y una distribución idéntica de brillo. Es imposible satisfacer ambas condiciones en la práctica, pues el disco de la estrella permanece siempre menor que el del cometa. Pero cuanto más ponemos al ocular fuera de foco, mas brillo de la coma es incluido. Por esta razon ***he usado siempre la técnica de traer dos estrellas de comparación y el cometa, hasta el punto en que todas desaparecen en el fondo del cielo.*** *De esa manera, usando estrellas apropiadas, el brillo de la coma puede ser determinado con precisión relativamente alta".*

Esa es toda la información de la que disponemos sobre este Método de medida. Una búsqueda exhaustiva en las otras publicaciones de Beyer, realizada con la ayuda de Dorothea Melcher, quien habla aleman fluido, permite llegar a la conclusión de que Beyer no publicó una descripción más completa.

En este método, por tanto, lo que se estima, es el punto de extinción respecto al fondo del cielo. La medición es del mismo tipo que antes: A,a,☄,b,B, pero ahora a y b son las estimaciones del intervalo en que se extingue el cometa respecto a las estrellas A y B, más y menos brillantes que el cometa.

La aplicación de este Método por parte del segundo autor, ha permitido determinar que **es posible lograr una medida aún mejor que esta.**

– CUANTIZACION DEL METODO DE BEYER

Lo primero que se intentó, fué tomar una secuencia de estrellas de magnitudes bien conocidas (las Pléyades), y determinar en que punto cada estrella se hace indistinguible del fondo del cielo. Pero para poder hacer esta medida, es necesario que el portaocular esté calibrado en mm, o que tenga marcas regulares de algún tipo. Las figuras 4 y 5 muestran la solución que se le dió a este problema. Para el telescopio refractor usado, esto no fué necesario: las propias marcas de la cremallera del portaocular sirvieron para medir en cuanto estaba desenfocado el ocular. Las unidades eran arbitrarias, pero eso no tiene importancia. **Lo importante es tratar de estimar la posición del desenfoque hasta la décima de mm o de división.**

Se tomó, entonces, la secuencia de magnitudes visuales de las Pléyades (Figura 6 y 7), y comenzando desde las estrellas más brillantes, se determinó en que punto se confundían con el fondo del cielo. En pocos intentos quedó esclarecida la técnica. El valor del "punto de foco", 4,10 en este caso, fué medido varias veces, al igual que los "puntos de extinción" de las estrellas. El resultado de estas mediciones aparece en la Tabla I.

Si graficamos los valores tabulados en esa Tabla en un papel *"semi-logarítmico"*, el resultado que se encuentra es sorprendente: ¡se obtiene una linea recta! Este gráfico consta en la Figura 8.

De esta figura pueden deducirse una serie de cosas:

1) Cuanto más débil la estrella, hay que desenfocarla menos para que desaparezca. Esto implica que su punto de extinción (cuando se confunde con el fondo del cielo), hay que medirlo con mas cuidado (en la práctica se mide varias veces y se toma el promedio).

2) Cuantas más estrellas se midan, la "recta de calibración" será mejor.

3) Si se usa un ocular de bajo aumento el error es menor (pues el desplazamiento del ocular es mayor).

4) Como la comparación se hace con el fondo del cielo, no importa que la secuencia de estrellas de calibración esté relativamente lejos (siempre que el fondo no varíe en esa distancia).

5) Pero el resultado más importante es que la pendiente de la recta no varía con el tiempo, es constante siempre. Si fijado el ocular el fondo cambia, la recta lo único que hace es desplazarse hacia arriba o hacia abajo, pero paralelamente a sí misma. Si el fondo es más transparente (baja luminosidad), hay que desenfocar más a la estrella y la recta se mueve hacia arriba. Si el fondo se hace más luminoso (poco transparente), hay que desenfocar menos a la estrella, y la recta se mueve hacia abajo.

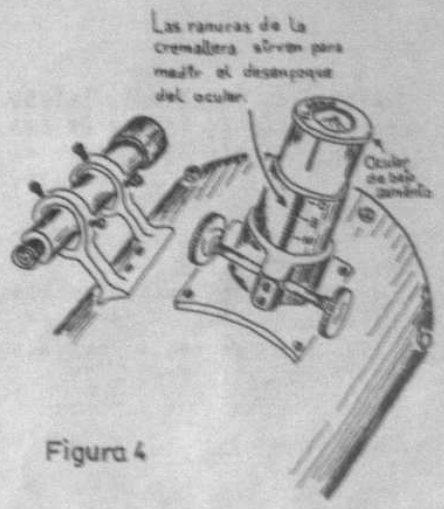

Figura 4

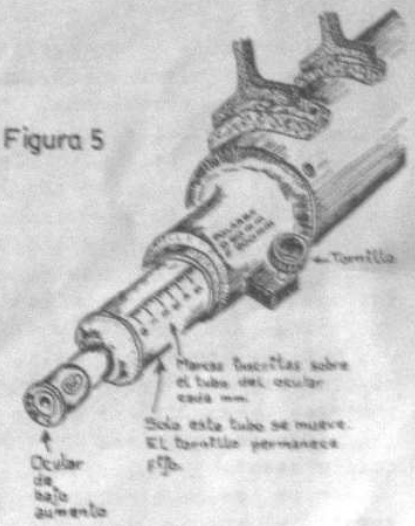

Figura 5

TABLA I: PUNTOS DE EXTINCIÓN
(Secuencia de las Pléyades)

Magnitud	Extinción	Foco	Extinción - Foco
3,64	13,30	4,10	9,20
5,09	6,95	4,10	2,85
5,76	6,57	4,10	2,47
6,60	5,03	4,10	0,93
7,18	4,80	4,10	0,70
8,27	4,45	4,10	0,35
8,69	4,30	4,10	0,20

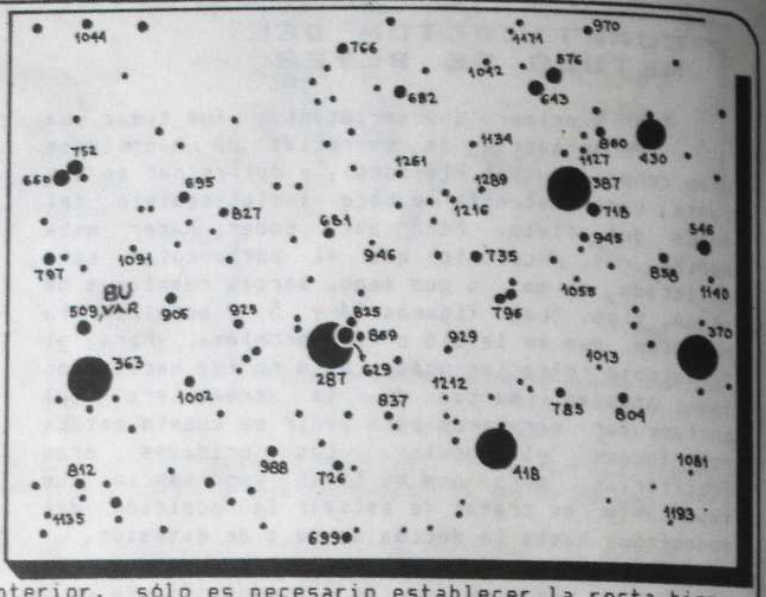

Figura 6. ***Magnitudes Fotoeléctricas En El Visual De Las Pléyades.*** *Están dadas sin el punto decimal. Así 287 = 2,87. Las magnitudes están tomadas del trabajo de Johnson y Mitchell (Ap.J., 128, p.31, 1958) y del "Catálogo de Estrellas Brillantes" de Hoffleit (1982). La Secuencia continúa en la Foto de la Figura 7.*

6) Debido a la propiedad anterior, sólo es necesario establecer la recta bien, (calibrar el instrumento), una sola vez. En otra ocasión solo basta tomar dos o tres estrellas de referencia, graficarlas, desplazar la recta, y medir cualquier estrella esa noche, aún si es más débil que la calibración.

7) Como este método no requiere recordar ningún brillo de ninguna estrella, (caso de los otros métodos), la precisión aumenta.

8) Otra ventaja adicional, mencionada por Beyer (1953), es que el disco de la estrella y del objeto extenso se parecen mas en tamaño y distribución de brillo, cuanto mayor sea el desenfoque. Y esto ocurre en el punto del fondo del cielo. Esto implica que el error sistemático de este método debe ser mínimo. En la práctica se encuentra que en efecto así es.

9) Si posee una calculadora programable, puede encontrar la recta de mejor ajuste (recta de calibración), por mínimos cuadrados. Por ejemplo, la HP-29 trae un programa semejante que puede ser corrido en unos minutos.

Considerando la precisión de este método, el trabajo adicional es completamente justificado.

Varios pasos merecen ser recordados: 1) Utilice el telescopio más pequeño que muestre al cometa. 2) Utilice el aumento más pequeño posible. 3) Recuerde que cada telescopio + ocular tiene su propia curva de calibración. 4) Determine ésta con el mayor número posible de estrellas. 5) Use visión "lateral" para determinar el punto de extinción. 6) Mueva ahora ligeramente el telescopio, para ver si todavía se vé alguna luz.

Una comparación del método de Beyer y medidas fotoeléctricas del cometa Encke, (Ferrín y Naranjo, 1980), ha dado un error muy pequeño, de tan solo 0,15 magnitudes. Considerando la dificultad de medir objetos extensos, este valor es increíblemente pequeño, y solo unas dos o tres veces mayor que el error de la fotometría fotográfica (~0.10 mag.).

Una gran ventaja del método de Beyer, es que no son necesarias estrellas débiles de calibración. Una vez medida la recta de calibración, ésta puede ser llevada a otra región con sólo estrellas de calibración brillantes. **¡Se puede medir objetos débiles donde sólo hay objetos brillantes!**

Figura 7. ***Las Pléyades.*** *Este grupo fácilmente reconocible en el cielo, puede ser usado para calibrar el Método de Beyer, o para investigar la magnitud límite de su telescopio. Esta foto fué tomada por el segundo autor, con el telescopio Schmidt de 1 metro, del Observatorio Nacional de Venezuela. La nebulosidad que rodea a este grupo es claramente visible, y no es defecto del instrumento.*

En **UNIVERSO** se publican regularmente secuencias de comparación de objetos extensos y estelares.

108
154
132
156
136
117
148
102
111
79
80
142
113

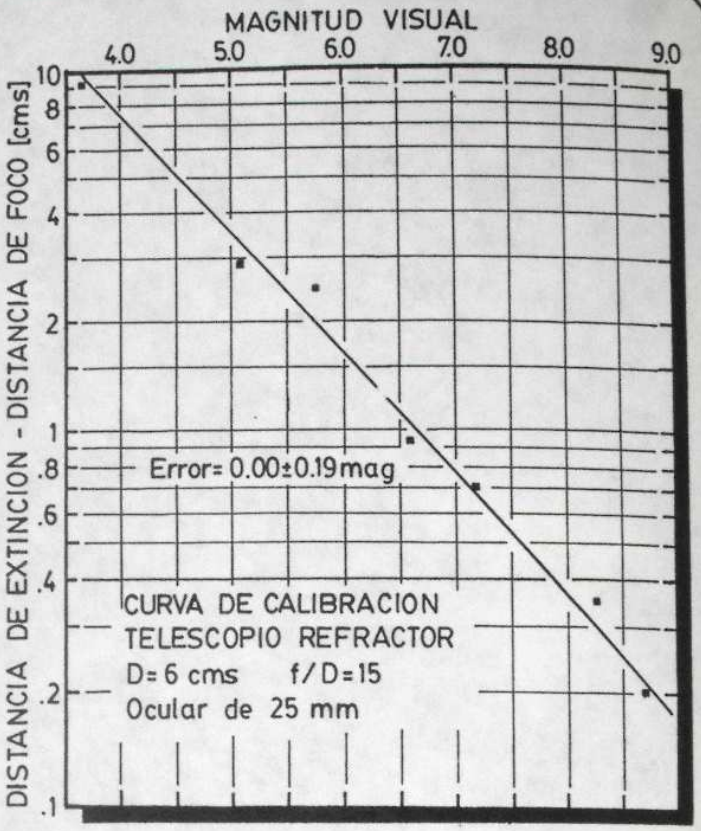

Figura 8. Curva de calibración de un telescopio refractor. *Note que el papel utilizado en este gráfico es semi-logarítmico. El error sistemático de este método parece ser 0,00, y el error al azar de 0,19 mag. Dependiendo del fondo del cielo, esta recta se desplaza hacia arriba o hacia abajo cada noche. Pero su inclinación permanece la misma.*

Y adicionalmente, dá información sobre el fondo del cielo y por lo tanto, sobre la calidad de la noche. De inmediato, se sabe si las condiciones del cielo son o no favorables. Registre esta información para su futura referencia.

Algunas posibles dificultades del Método de Beyer cuantitativo:

1) Como exige una buena cantidad de desenfoque (tanto mayor cuanto mayor sea el brillo de las estrellas), puede ser que no funcione con algunos telescopios o binoculares.

En el primer caso, puede que sea necesario mandar a hacer un nuevo tubo del ocular más largo y con marcas en su longitud. En ambos casos lo que sucede es que las estrellas más brillantes no pueden ser extinguidas. Esto es, su binocular y su telecopio tendrán un "rango de extinción" y por lo tanto de utilidad. Pero esto se puede arreglar para telescopios. Para extinguir a las estrellas más brillantes use un ocular de fuerte aumento. Un pequeño desplazamiento de un ocular fuerte, y el objeto más brillante desaparece. Trace la recta de *calibración* para este nuevo ocular.

2) Si bien, el objeto que quiere medirse puede estar lejos de las estrellas de comparación es cierto que esto es un riesgo si el fondo del cielo varía (como por ejemplo, al atardecer o al amanecer, o muy cerca de la Luna). Pero los otros métodos adolecen de las mismas dificultades o peores.

— RESUMEN DEL METODO DE BEYER

A continuación hagamos un resúmen del Método de Beyer mejorado:

Primero hay que fabricar la *"curva de calibración"* del telescopio/ocular usando tantas estrellas como sea posible. Luego se mide en alguna región del firmamento dos o tres estrellas de referencia cerca de un cometa. Estas caerán en el gráfico sobre una línea recta *paralela* a su recta de calibración, pero mas arriba o mas abajo. Trace su "nueva recta para esa noche". Ahora, mida el objeto desconocido, el cual puede estar a varios grados de distancia, y ser mas débil que sus dos o tres estrellas de calibración (ya que se trata de una línea recta). Determine el punto de extinción del objeto varias veces. Saque el promedio. Restándole el punto del foco (que no varía o varía poco de noche en noche). Entre a su gráfico este valor. Obtenga la magnitud del gráfico. Listo.

¡Esto convierte a su telescopio en un potente sistema de medición de magnitudes!

– CALIBRACION OBSERVADOR/EQUIPO

Supongamos que el observador se decide por algún método de medida del brillo de su cometa, pero además de usarlo con un cometa real, lo aplica a una serie de objetos de prueba extensos, que sirvan de calibración, y para los cuales la magnitud global es bien conocida.

El método usado, *cualquiera que sea*, puede contener errores sistemáticos por arriba o por abajo, debidos no sólo al método en sí, sino al telescopio o aún, al observador. Este puede tener una tendencia a sobreestimar o subestimar el brillo.

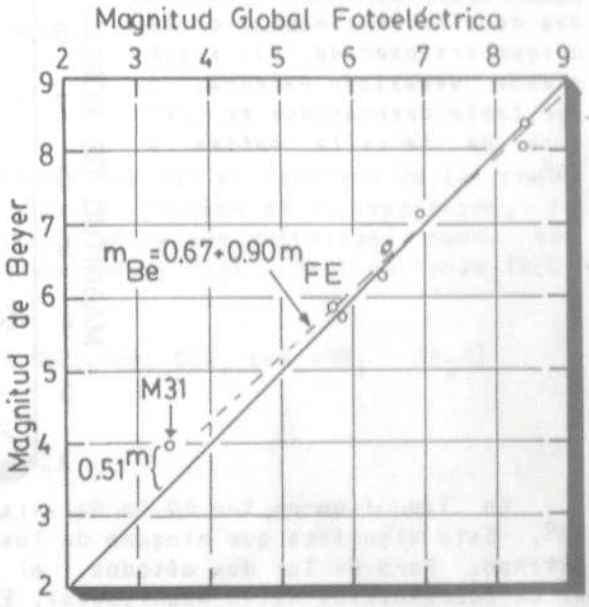

Figura 9. Comparación de las medidas de Beyer de objetos extensos, con las magnitudes totales fotoeléctricas. Estas últimas han sido sacadas de varias fuentes. La recta a 45° indicaría un ajuste perfecto. Pero todos los observadores se desvían de esta recta en mayor o menor grado. El error promedio para estos datos de Beyer es de 0,17 magnitudes. La galaxia de Andrómeda (M31) es demasiado extensa (vea el texto). Su separación de la recta se debe al "Efecto Delta" o "Efecto de Diámetro aparente".

De modo que si las observaciones fuesen "calibradas" con algunos objetos de prueba, todos los errores se tomarían en cuenta en la calibración (excepto aquellos debidos a la diferente distribución de la luz de los objetos de prueba y el objeto problema).

Los objetos que podrían ser usados para este propósito son principalmente: Galaxias, cúmulos globulares y nebulosas planetarias. Hay extensas listas de ellos, que entre otras cosas dan la magnitud "global" del objeto medida fotoeléctricamente. Las magnitudes globales de las nebulosas planetarias no son conocidas con mucha precisión, hoy en día. Pero esta situación está cambiando rápidamente.

Beyer (1950) ha hecho eso precisamente. En uno de sus trabajos dá la estimación del brillo de varias galaxias y cúmulos globulares, que por ser extensos se parecen a cometas. Hemos graficado en la figura 9 sus valores y los medidos actualmente por métodos fotoeléctricos muy precisos. En este gráfico la recta a 45° indica un ajuste perfecto. Cuanto más se desvíe el observador de esta recta, mayor será su error.

Vemos que Beyer se desvía muy poco. Comparando sus puntos con la recta, en promedio se desvía ±0,17 magnitudes (un valor parecido ya ha sido mencionado anteriormente varias veces).

John Bortle (Houston, 1976), otro conocido observador de cometas, también ha hecho varias medidas de objetos extensos, y por tanto también para él podemos establecer una curva de calibración, la cual se observa en la Figura 10. Su método de medición es el de Bobrovnikkov. Aquí la dispersión ha aumentado al doble (error promedio = ±0,32 magnitudes), pero además se observa que los puntos se desvían sistemáticamente de la recta de mejor ajuste a 45°. El origen de esta desviación es desconocido. Puede ser instrumental o debido al observador. ¡Lo que importa es que ahora sí entramos en el gráfico con una magnitud observada por Bortle, llegamos a su recta de calibración, y podemos extraer *sin error sistemático* una magnitud global fotoeléctrica!

En esto reside la importancia de la curva de calibración observador/equipo. Permite reducir aún más su error observacional.

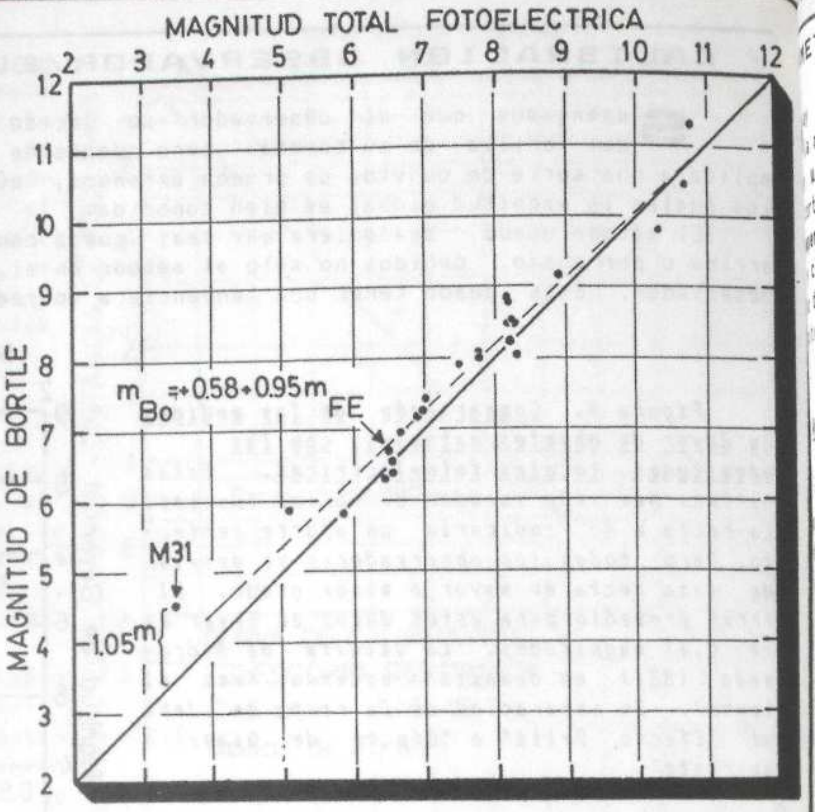

Figura 10. Comparación de las medidas de Bortle de objetos extensos, con magnitudes totales fotoeléctricas. Note la existencia de una desviación sistemática de origen desconocido. M31 sigue siendo demasiado extensa, y por tanto desviándose en exceso de la recta óptima a 45°.

En las figuras 9 y 10 la Galaxia de Andrómeda se desvía mucho de la recta a 45°. Esto significa que ninguno de los métodos es capaz de medir bien un objeto muy extenso. Pero de los dos métodos, el de Beyer da menor error (0,51 magnitudes) que el de Bobrovnikkov (1,05 magnitudes). Este es un ejemplo claro del llamado **Efecto de Diámetro Aparente, el cual da origen al efecto Delta.** Si un cometa se acercase a la Tierra mucho, aumentando su diámetro angular hasta el de M31, perdería en brillo aproximadamente 1 magnitud si se midiese con el método de Bobrovnikkov, y 0,5 magnitudes, si con el de Beyer.

Finalmente, la Figura 11 nos muestra una comparación de objetos reales (cometas) con las medidas de Beyer. Observamos la exactitud con que sus medidas se ajustan a la recta óptima de 45°.

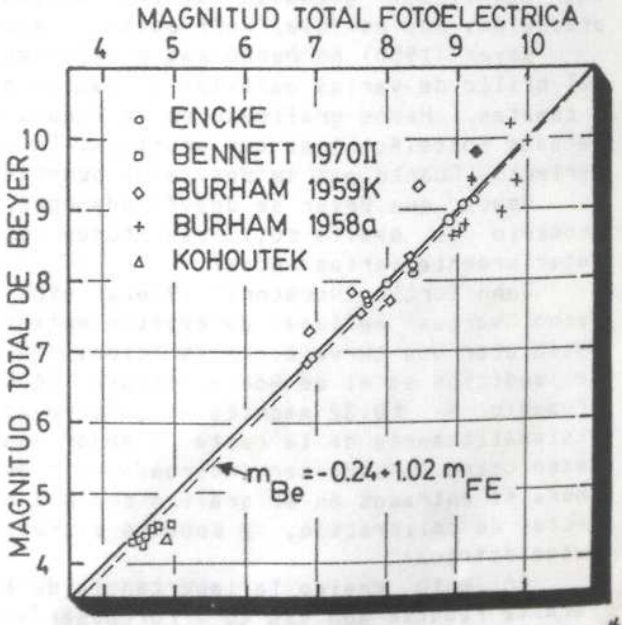

Figura 11. Magnitudes Reales De Varios Cometas Medidas Fotoeléctricamente, Comparadas Con Los Valores Dados Por Beyer. El acuerdo es excelente, con poco error sistemático. Algunos de los puntos que se desvían de la recta óptima a 45° son debidos a fluctuaciones en el cometa, y no a errores de medición (caso del cometa Burham 1959k), y al hecho de que las magnitudes fotoeléctricas tienen sus propios errores.