

# **CLASIFICACION DE LAS ESTRELLAS**

## **APROXIMACION AL DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG RUSSELL**

Por: William Lalinde V.  
Profesor del Depto. de Ingeniería, U.N.

### **Introducción**

Se lee en la Mitología que Berenice, esposa del Rey de Egipto Ptolomeo Evergetes, prometió a los dioses la ofrenda de su cabellera si, como sucedió, su esposo regresaba a salvo de la guerra contra los Seleúcidas.

Cortó su hermosa cabellera y la depositó en el templo. Al tiempo la cabellera desapareció y se emprendió su búsqueda por todo el Reino. Interrogados, los astrónomos de la corte declararon luego de estudios y consultas, que la cabellera se encontraba en el cielo, a donde fue llevada por Céfiro, en medio de las estrellas y cerca a la constelación del León (Leo). En los mapas del cielo aparece La Cabellera de Berenice (Coma Berenicae) como una de las constelaciones celestes.

El nombre de las constelaciones como el de muchas de las estrellas, les fue dado desde muy antiguo por los pueblos que más asiduamente las observaron.

Los babilonios, árabes, griegos, egipcios, etc. conocieron la disposición de las estrellas en la bóveda celeste hasta el punto de tenerse una clasificación de grandeza y color, basada en la intensidad y coloración luminosa que impresionaba el ojo del observador. Distinguieron así, seis clases de "grandeza" y los colores azul, blanco, amarillo y rojo en las estrellas para ellos visibles.

### **Magnitud.**

La clasificación de grandeza se cambió en tiempos modernos, por la de "magnitud aparente" para lo cual se introdujeron definidos fundamentos de fotometría.

Un esbozo del procedimiento seguido sería el siguiente: el ojo humano es el receptor de la luz de las estrellas y le permitió al hombre las primeras clasificaciones



de "grandezas". Se sabe que es sensible para longitudes de onda comprendidas entre  $0,4 \mu$  (violeta) y  $0,8 \mu$  (rojo) aproximadamente, con un máximo de sensibilidad hacia  $0,55 \mu$  (amarillo-verde) y el mínimo en los valores extremos. La luz de la estrella produce en la retina una iluminación (e) que se conoce como **brillo aparente de la estrella**. La sensación ejercida en nuestros sentidos por el brillo aparente (e), es motivo de una ley de fisiología experimental debida a Fechner y que podríamos expresar así: "La variación de la sensación (s) correspondiente a una variación del brillo aparente (e) es proporcional a  $\frac{de}{e}$ " o sea,  $ds = \frac{de}{e}$ , haciendo la constante de proporcionalidad igual a uno.

Era propósito, además, el tratar de respetar en lo posible las clasificaciones estelares que se tenían hasta ese momento (segunda mitad del siglo pasado) y que se encontraban reunidas en el catálogo de magnitudes debido a Argelander. Del estudio de las magnitudes allí presentadas y de sus brillos aparentes, determinados por fotometría, se encontró que obedecían prácticamente a una relación constante.

En otras palabras la relación de los brillos aparentes (e) entre dos magnitudes consecutivas era una constante igual a 2,512.

En general sería  $\frac{e'}{e} = (2,512)^{m-m'}$ , donde m es la magnitud.

$$\log \frac{e'}{e} = (m-m') \log 2,512, \text{ o aproximadamente } 0,4 (m-m') = \log \frac{e'}{e},$$

o sea:  $m-m' = 2,5 \log \frac{e'}{e}$  (A) que se conoce como ley de Pogson.

Esta expresión es una confirmación de la ley de Fechner así:

$$S = \ln e + c = \log e \ln 10 + c$$

$$S' = \ln e' + c_1 = \log e' \ln 10 + c_1$$

$$\frac{S' - S + C - C_1}{\ln 10} = \log \frac{e'}{e} = 0,4 (m - m')$$

donde los valores de la sensación visual y las constantes de integración valdrían, para los valores del catálogo, la diferencia de magnitudes multiplicada por 0,4.

Así, pues, se obtienen los valores de las magnitudes aparentes de las estrellas a partir de medidas fotométricas, de leyes biológicas y acordes en lo posible con la clasificación tradicional.

Las magnitudes aparentes si bien dan un valor basado en mediciones físicas, se prestan poco para la interpretación científica.

Se recurre, entonces, al concepto de "magnitud absoluta" la cual implica el de distancia. La distancia de las estrellas es tan grande que se expresa en años luz y se sustituye, en los estudios estelares, por el concepto de **paralaje**.



Definamos el Paralaje. "Se designa así el ángulo, siempre muy pequeño, bajo el cual se vería la **unidad astronómica de distancia** desde la estrella".

Debemos entonces definir la **unidad astronómica de distancia** que es "el radio de la órbita circular que describiría alrededor del sol un planeta de masa despreciable, substraído a cualquier perturbación, y cuyo período de traslación, expresado en días medios, fuese: 365,2568983263". El paralaje se expresa en segundos de arco. Tal unidad no es más que la regularización ficticia de la órbita de la tierra para servir de base natural en la determinación del paralaje. El hecho de que el semieje mayor de la órbita terrestre mida 1.00000023 unidades astronómicas ilustra lo anterior.

En forma más simple el paralaje sería el ángulo con el cual se vería desde la estrella el radio de la órbita terrestre, suponiendo tal órbita circular y el planeta tierra como un punto sin perturbaciones en su movimiento. Cuando el paralaje es igual a un segundo se habla de un Parsec, unidad de distancia astronómica que resulta de la contracción inglesa de paralaje y segundo. Por simple Trigonometría se obtiene que un Parsec representa una distancia de  $30,84 \times 10^{12}$  km. La primera medida se hizo usando el diámetro de la órbita terrestre como base de un triángulo y leyendo los ángulos de la visual a la estrella en intervalos de seis meses. (ver figura 1).

El primer resultado se debe a Bessel (1784—1846) quien encontró para la estrella Alfa del Centauro un paralaje de 0,88 segundos de arco.

Hoy se usan refinados procedimientos fotográficos y espectrográficos que han permitido conocer el paralaje de más de 6.000 estrellas.

Volvamos ahora a la idea de "magnitud absoluta". La intensidad luminosa visual de una estrella dependerá de su distancia a la tierra disminuyendo en razón inversa al cuadrado de tal distancia. Si conocemos la magnitud aparente de una estrella y su distancia a la tierra, podremos encontrar la magnitud que esa misma estrella tendrá a cualquier otra distancia. Se definió entonces la distancia de diez parsec ( $1/10''$  o 3,25 años luz) como aquella a la cual se colocarían todas las estrellas para encontrar su magnitud, siendo esta la "magnitud absoluta", valor que encontrado para muchas estrellas permitiría hacer confrontables los resultados.

Sean:  $e$  y  $\pi$  el brillo aparente y el paralaje real de una estrella y

$e'$  y  $0,1''$  el brillo absoluto y el paralaje de diez Parsec de la misma estrella.

$$e = \frac{1}{\pi^2}$$

$$e' = \frac{1}{0,01} \quad \frac{e}{e'} = \frac{0,01}{\pi^2}$$

Llevando esta relación a la ley de Pogson o Ecuación (A) tenemos:

$m' - m = -2,5 [\log 0,01 - \log \pi^2]$  siendo  $m'$  la magnitud absoluta.



$$m' - m = -2,5 [-2 - 2 \log \pi]$$

$$\therefore m' = m + 5 + 5 \log \pi$$

Esta fórmula nos permite encontrar la magnitud absoluta de cualquier estrella en función de su magnitud aparente y del paralaje.

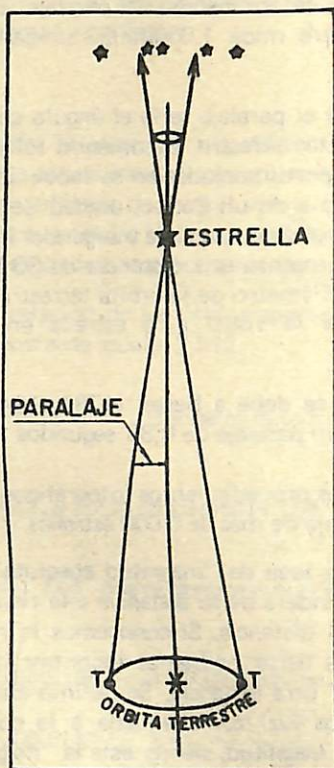


FIG. 1

### Color.

Debemos pasar ahora a ver de qué manera se ha puesto orden al segundo concepto en la clasificación de los antiguos: **El color**. No sobra decir que fuera de la determinación trigonométrica del paralaje, la obtención de relaciones de masas por gravitación en las estrellas dobles y la ayuda de la radiastronomía, todo lo que se puede saber de las estrellas se tiene que obtener a través de lo que de ellas nos llega: su luz. Esa luz presenta características que hoy día se conocen muy bien a través del estudio de los espectros. Un resumen de tal procedimiento sería el siguiente:

En el espectroscopio la luz procedente de un cuerpo sólido o de un líquido en incandescencia nos dará un espectro continuo; si se trata de un gas incandescente el espectro será discontinuo con rayas luminosas que son proyecciones monocromáti-



cas de la rendija del espectroscopio, y que se denominan espectros de emisión. Cada elemento químico produce un espectro característico y se puede identificar en la luz del sol o de las estrellas o en cualquier foco emisor. Se tiene, además, otro principio de gran importancia. todo elemento en estado gaseoso absorbe las mismas radiaciones que emite en estado incandescente. Así, por ejemplo, si tenemos un sólido incandescente y le interponemos un gas de determinado cuerpo químico, el espectro que debiera ser continuo se ve surcado por una serie de rayas oscuras correspondientes a las monocromáticas que emitiría ese mismo gas si estuviese incandescente. Este espectro que aparece invertido se denomina de absorción y permite identificar la presencia de gases cuando son opacos o poseen una temperatura o luminosidad inferior a la del foco principal que da el espectro continuo.

Existen fórmulas que dan con precisión la posición de las rayas en los espectros de algunos cuerpos simples.

Cuando un elemento está ionizado (ha perdido uno o varios electrones) su espectro se altera en forma característica. Las alteraciones del espectro permiten conocer algunas condiciones especiales a las cuales se hallan sometidos los elementos que emiten la luz. Es usual hablar en estos casos de Efectos. Los principales son:

**Efecto Doppler:** se fundamenta en que la mayor o menor desviación de los rayos luminosos al atravesar un medio refrigente depende de la frecuencia ondulatoria, la cual se altera bien sea que el foco se aproxime o aleje del observador, y esto se manifiesta en el espectro.

**Efecto Zeeman:** produce el desdoblamiento de las rayas espectrales por la acción de un campo magnético. Solo afecta determinadas rayas y depende de la dirección del campo. Si el campo es perpendicular a los rayos luminosos las rayas del espectro se descomponen en tres, formando un "tripleto normal". Si el campo es colineal con los rayos luminosos las rayas del espectro se descomponen en dos formando un "doblete" de igual intensidad.

**Efecto Stark:** consiste en un desdoblamiento de las rayas espectrales causado por la acción de un campo eléctrico.

**Efecto Humphreys:** produce un desplazamiento del espectro hacia el rojo y un ensanchamiento de las rayas tendiendo a hacerlas difusas. El desplazamiento es sensiblemente proporcional a la presión a que se encuentra el elemento. La intensidad de las rayas de absorción o de emisión se altera con el grado de ionización de los gases.

**Efecto Einstein:** es un desplazamiento hacia el rojo del espectro debido a la presencia de un campo gravitatorio.

**Efecto Everly:** es causado por la rotación y debido a que el espectrógrafo recoge la luz proveniente de todos los bordes de la estrella en conjunto, lo cual origina un ensanchamiento y difusión de las rayas espectrales.

**Efecto Compton:** se debe a la disminución de frecuencia en los fotones al chocar elásticamente con los electrones.

**Efecto Michelson:** las rayas de los espectros estelares sufren un desplazamiento cuando la luz ha pasado por un medio de elevada densidad.



**Efecto Oort:** se evidencia en los estudios de dinámica de las galaxias donde las estrellas aparentan unas acercarse y otras alejarse entre sí, debido a las distintas velocidades de rotación y que son función de la distancia de la estrella al centro de la galaxia, a las velocidades radiales y a los demás movimiento propios.

**Efecto Paschen-Back:** cuando el campo magnético es muy intenso aparece un efecto Zeeman anómalo.

Se procedió, entonces, al análisis de los espectros estelares y a establecer una clasificación que inicialmente usó las letras del alfabeto para su identificación. Pacientes estudios adelantados en el Observatorio de Harvard sobre unos 250.000 espectros condujeron a reducir los Tipos Espectrales a los representados por las letras O B A F G K M de la clasificación inicial y en ese ordenamiento atendiendo la temperatura de la estrella. Cada tipo espectral admite además, diez subdivisiones existiendo, por ejemplo, estrella tipo BO, B5, G3, etc.

Se mencionó la temperatura de la superficie de la estrella. Recordemos rápidamente que los astrónomos suponen como hipótesis de trabajo que las estrellas son "Cuerpos Negros", es decir que poseen radiación integral o que absorben todas las radiaciones que reciben y emiten todas las que posean. Es aplicable, entonces, la ley de Stefan que dice "la radiación integral de un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta", y por una formulación de Plank se sabe que la radiación es función de la longitud de onda o más sencillamente que el Color de la estrella es función de su Temperatura.

Anotemos de paso que se debe a Hertzsprung; astrónomo Danés, la introducción en la astronomía de los conceptos de Estrellas Gigantes y Estrellas Enanas. Un sencillo razonamiento lo llevó a esto en 1905. Si la temperatura de dos estrellas es la misma (igual color) y son de idéntico tipo espectral pero difieren en "magnitud absoluta", esto se debe a distintas masas o a superficies radiantes diferentes (volumen). Por el estudio de los sistemas binarios de estrellas, aplicando la ley de gravitación, se ha llegado a la idea de que la masa de cada estrella no difiere mucho de la masa del sol, por lo cual la diferencia de magnitud se debe a diferencias notables de volumen. Habló, entonces, de Estrellas Gigantes y Estrellas Enanas.

#### **Diagrama de Hertzsprung — Russell.**

Lo tratado hasta ahora nos da una idea de cómo se progresó alrededor de las primeras clasificaciones de grandeza y color para llegar a las de Magnitud Absoluta y Tipo Espectral que serían sus equivalentes modernos. Se debe a Russell, astrónomo americano, la idea de buscar una correlación gráfica de ambos conceptos. Trabajando en 1913 con los datos de unas 300 estrellas las localizó en un diagrama cartesiano en cuyas abscisas colocó las Temperaturas o Tipos Espectrales y en las ordenadas la Magnitud Absoluta.

Encontró que las estrellas obedecían a una distribución tal que las agrupaba alrededor de ciertas curvas, con muy poca dispersión. (ver figura 2).

Se evidenció que los tipos G, K, M presentaban una curva ascendente en magnitud y otra descendente, corroborando la idea de Gigantes y Enanas debida a Hertzsprung, por lo cual el diagrama se conoce con los apellidos de los dos investigadores.



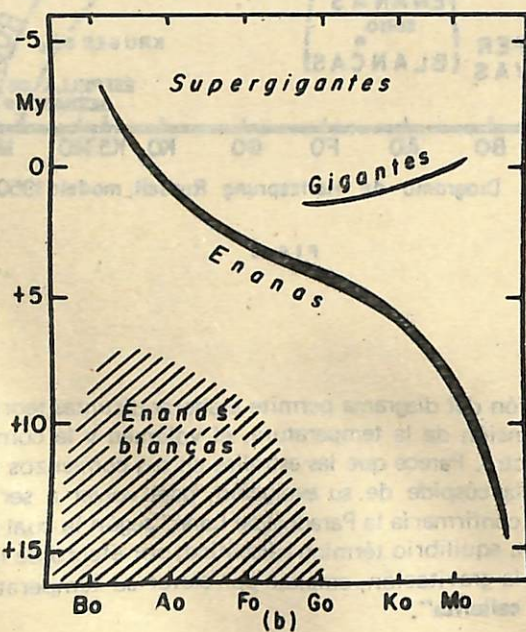
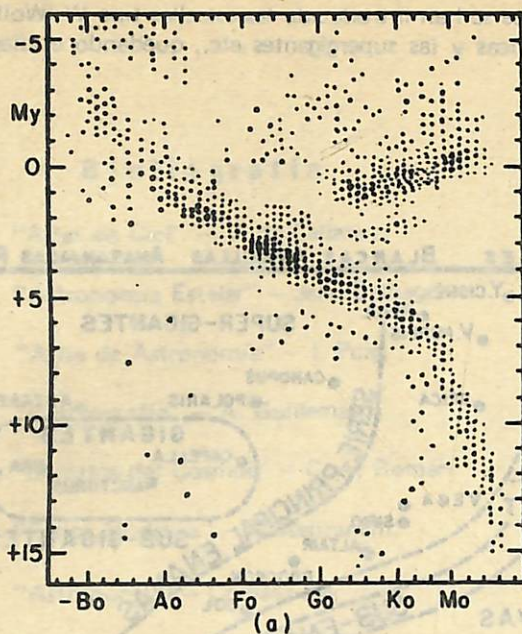


Diagrama de Hertzsprung - Russell

FIG. 2



Recientemente se han introducido las estrellas tipo W (Wolf-Rayet), las novae, las enanas blancas y las supergigantes etc., quedando el diagrama zonificado según la figura 3.

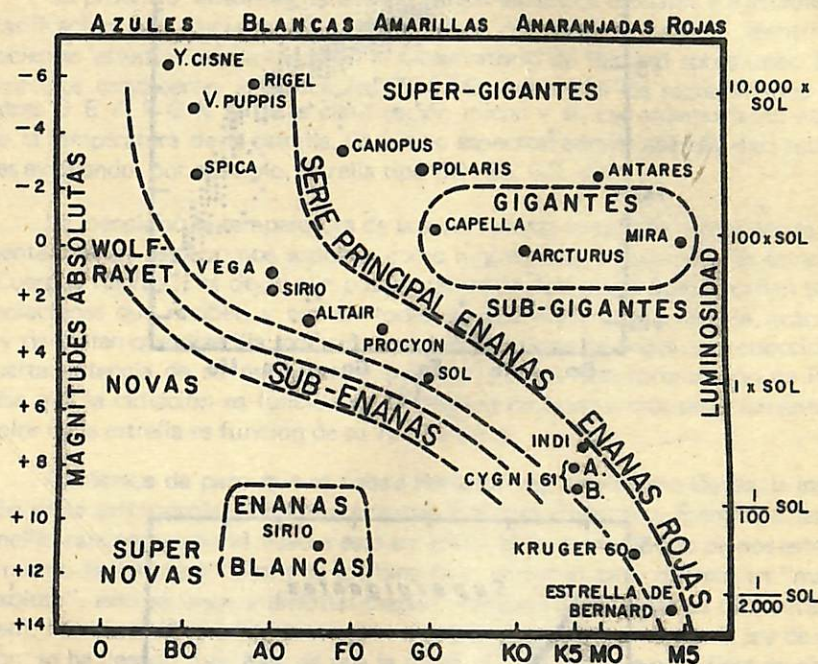


Diagrama de Hertzsprung Russell, modelo 1950.

FIG. 3

La observación del diagrama permite elaborar distintas teorías sobre la evolución estelar en función de la temperatura, el volumen y la composición química deducida del espectro. Parece que las estrellas en sus comienzos son rojas y llegan hasta blancas en la cúspide de su evolución, para volver a ser rojas en la rama descendente. Esto confirmaría la Paradoja de Lane "según la cual una masa gaseosa esférica, sometida a equilibrio término adiabático, por efecto de la condensación de su masa debida a la gravitación, empieza por elevar su temperatura de tal manera que enfriándose se calienta".



## Bibliografía

- 1.- "Atlas de Ciel" — V. de Callataiz.
- 2.- "Astronomía Estelar" — Jean Delhage.
- 3.- "Atlas de Astronomía" — I. Puig.
- 4.- "Cosmografía" — A. Guillemin
- 5.- "Secretos del Cosmos" — C. A. Román
- 6.- "Física Moderna" — Castelfranchi.
- 7.- "Astronomía" — Comas Solá