

9.1. DIAGRAMA HERTZPRUNG-RUSSELL

Los tipos de estrellas pueden caracterizarse por la temperatura (aproximadamente su color) y la cantidad de luz que radian (magnitud absoluta). El diagrama H-R, ver fig. 9.1, es un plano cartesiano al cual llevamos las estrellas, según ese par de coordenadas.

Si tomáramos las estrellas del cielo, para llevarlas al diagrama H-R, registrando su brillo real, deberíamos conocer la distancia que nos separa de cada una, y adicionalmente, registrar con precisión su color.

La relación entre el color y la temperatura superficial de los astros, está dada por la clase espectral de la estrella (O, B, A, F, G, K, M), al igual que la relación existente entre el brillo aparente y la distancia está dada por la magnitud absoluta. En el **eje vertical** del diagrama H-R la luminosidad absoluta en clases de magnitud o la luminosidad en unidades

de luminosidad solar. En el **eje horizontal** se hallan las clases espectrales, o bien, la relación entre la temperatura superficial, o el color.

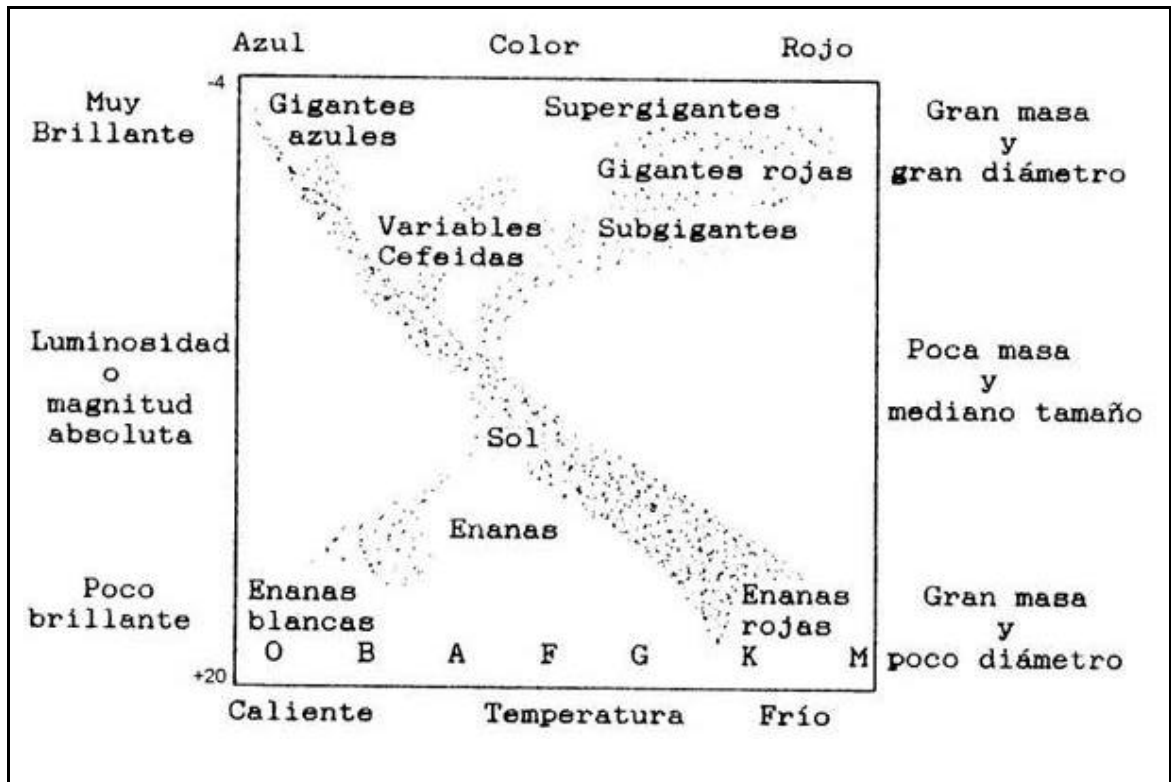


Figura 9.1. El diagrama HR: herramienta que involucra la magnitud y el color de todas las estrellas, y la masa y tamaño para las estrellas de la secuencia principal solamente.

La mayoría de las estrellas se sitúan sobre la **secuencia principal** que se extiende desde el ángulo superior izquierdo al inferior derecho. Arriba a la izquierda están las estrellas blancas y azules de gran luminosidad y masa, en el centro las estrellas amarillas parecidas al Sol y abajo a la derecha las enanas rojas. En la parte superior derecha se sitúan las

gigantes rojas. Abajo a la izquierda se hallan algunas **enanas blancas**. Las restantes zonas del diagrama están prácticamente vacías.

La mayoría de las estrellas consumen el principio y la mitad de su vida en el estado que las sitúa a lo largo de la línea de la secuencia principal (en la actualidad el Sol se halla en esta situación). Es la fase estable, de combustión de hidrógeno. La posición a lo largo de la línea viene determinada por su masa: las estrellas de gran masa están en la región de las gigantes azules, y las de masa pequeña, entre las enanas.

Las demás regiones del diagrama sólo están pobladas cuando las estrellas "ordinarias" han quemado buena parte de su hidrógeno y empiezan a evolucionar, separándose de la línea de la secuencia principal, hacia la derecha y hacia arriba (fase de gigantes rojas) y posteriormente hacia la izquierda y hacia abajo (fase de enanas blancas).

Las estrellas de la Vía Láctea son más heterogéneas que las de cualquier tipo de cúmulo. Las estrellas de un **cúmulo globular** difieren ostensiblemente, por su génesis, de las de un **cúmulo galáctico**; las primeras son estrellas viejas de primera generación y con bajo contenido metálico, mientras las segundas son jóvenes, de segunda generación y alto contenido metálico. Esa diferencia deberá expresarse en los diagramas H-R de ambos cúmulos. Con el tiempo el diagrama H-R se va despoblado en la secuencia principal, y lo hará de arriba abajo, pues las estrellas de gran masa terminan primero sus reacciones termonucleares, mientras las de masa pequeña han de esperar. Los cúmulos galácticos o abiertos, nutridos de estrellas jóvenes, muestran un diagrama H-R nutrido en la secuencia principal a diferencia de los diagramas de los cúmulos globulares.

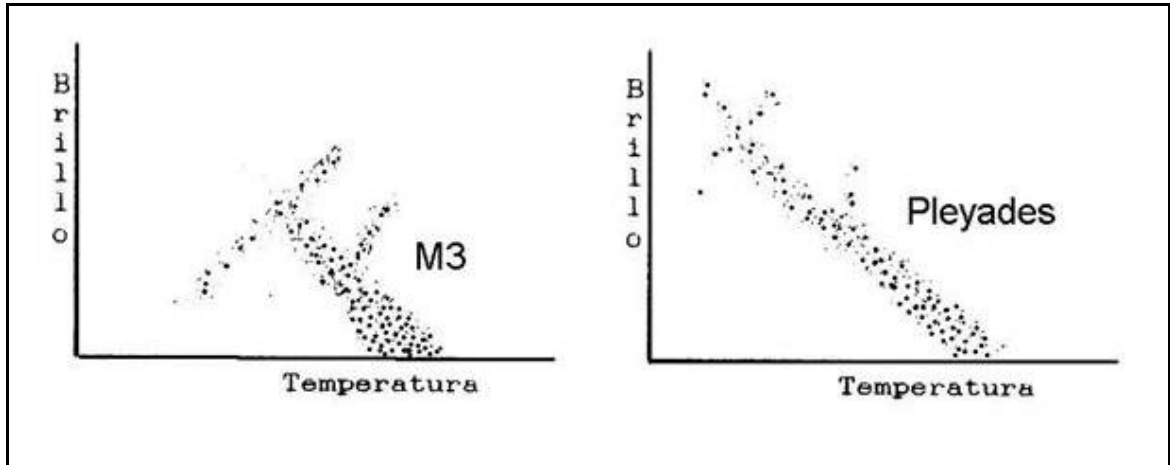


Figura 9.2. El diagrama H-R aplicado a cúmulos estelares: para sistemas estelares coherentes existe diferencia entre un cúmulo globular y un cúmulo galáctico. Las edades de estos se diferencian en la estructura del diagrama. Fuente, Cien mil millones de Soles.

9.1.1 Clasificación Espectral de las estrellas

Cuadro 9.1 Clasificación espectral de las estrellas

Clase espectral	Temp. Celcius	Índice de Color	Color	%abundancia	Línea espectral dominante
O	50000 a 25000	- 0.4	azul	1 %	Helio
B	25000 a 11000	- 0.3	azul blanq	3 %	Helio Hidrogeno
A	11000 a 8000	0.0	blanco	2 %	Hidrógeno Calcio
F	8000 a 6000	+ 0.3	amarillo blanq	10 %	Calcio Potasio
G	6000 a 4000	+ 0.7	amarillo	16 %	Metales Calcio
K y M	4000 a 2500	+ 1.2 y +1.7	amarillo y rojizo	37 y 7 %	Metales Oxido de titanio

Fuente. Dic. Rioduero Física del Espacio y otros

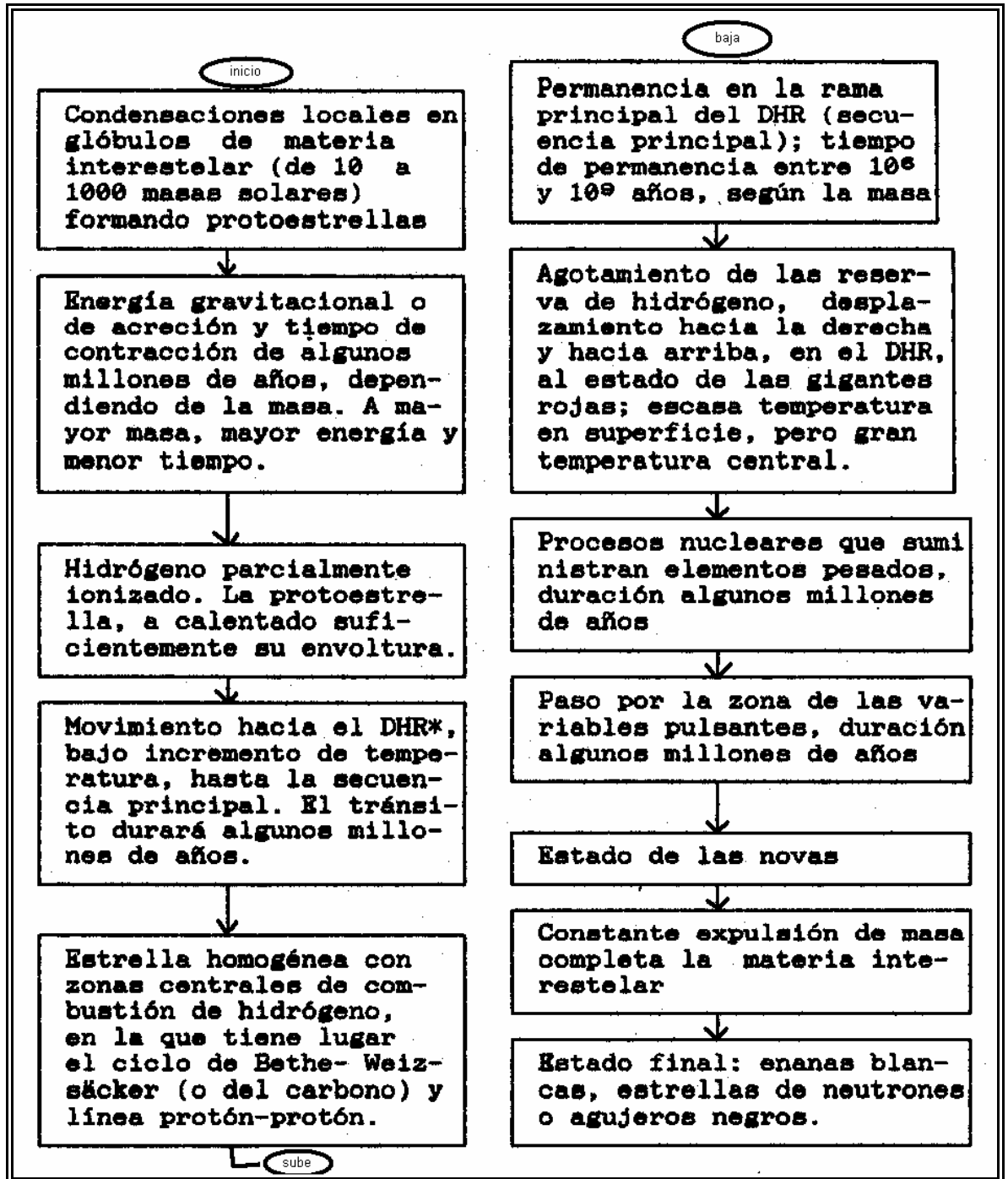
9.2. FORMACION DE ESTRELLAS

Las nubes de gas y polvo interestelares están sometidas a dos fuerzas: como quiera que la masa se encuentra en rotación y posee alguna temperatura, superior a la del entorno, presenta una fuerza centrífuga de rotación y una fuerza termodinámica por calor, que tratan de expandirla. A estas fuerzas se opone la atracción gravitacional ejercida por la masa, fuerza dirigida hacia el centro de gravedad del sistema.

Si la fuerza de gravedad domina a la de repulsión, se da el colapso gravitacional para que se contraiga la nube, aumentando su densidad, disminuyendo su volumen, aumentando su velocidad de rotación (el momento cinético se conserva igual por el efecto de bailarina) y aumentando la temperatura de la masa (calentamiento por energía de acreción).

El colapso de la nube, gracias a que su densidad se hizo crítica, conduce a una **protoestrella** o sea una nube condensada y caliente que emite radiación infrarroja. El escape de energía permite que la protoestrella colapse más, pero con ello la temperatura aumenta en su interior (energía de acreción) y por lo tanto, la protoestrella pasa a ser brillante (atmósfera enrarecida).

Cuadro 9.2 Síntesis evolutiva de una estrella



Fuente: Diccionario Rioduero. Física del Espacio

Con el colapso sucesivo, la temperatura aumentará más en el interior y cuando alcance 10 millones de °C, aparecerá la **estrella**, iniciándose la fusión nuclear, consistente en convertir hidrógeno en helio por dos vías: línea **protón-protón** y ciclo **C-N-O** o del carbono. En ambos procesos la masa inicial supera la masa final en Δm , y Δm se convierte en energía, según la fórmula $E = \Delta m c^2$, como se aprecia en la siguiente fig. 9.3 :

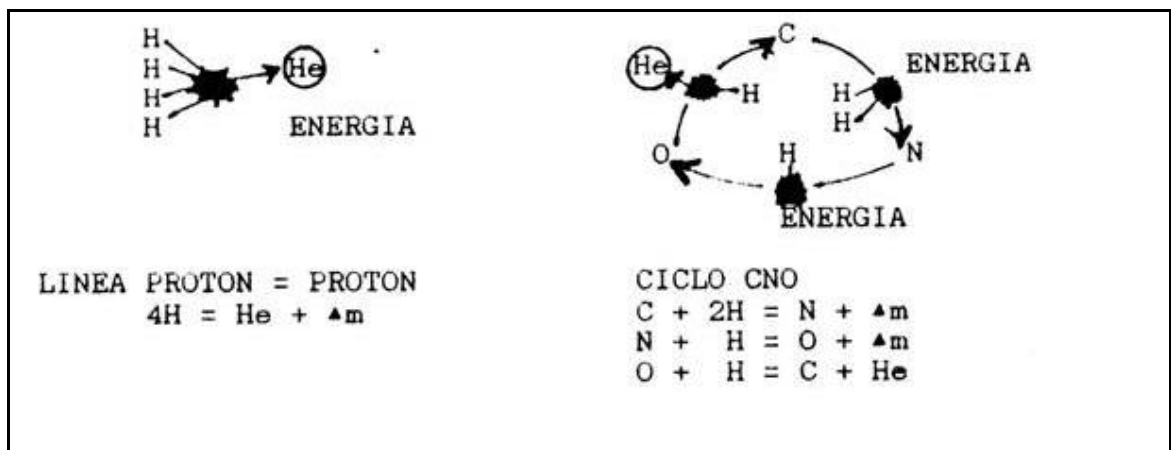


Figura 9.3. Fusión del hidrógeno: se ilustran los procesos por los cuales cuatro hidrógenos se fusionan en un átomo de helio, generando energía.

Mientras la estrella convierte H en He, se dice que está en la **secuencia principal** y la duración de esta fase es inversamente proporcional al cubo de la masa. Las de menos de una masa solar toman la línea protón-protón y duran más, las de más de tres masas solares el ciclo CNO, en las de masa intermedia, el primer proceso en la periferia del núcleo, y el segundo en su interior. Si la masa es menor que el 7% de la masa solar, no hay fusión nuclear (planeta). Si la masa supera 75 masas solares, o colapsa todo o explota todo, porque la presión interior se debería a los FOTONES y no a los electrones o a los núcleos atómicos. Para estas masas, la estrella es inestable.

Gonzalo Duque-Escobar

En la fase estable de la secuencia principal las estrellas permanecen el 90% de su vida. Las de gran masa duran algunos millones de años y las de pequeña masa algunos miles de millones de años. El Sol duraría 10^{10} años. El 10% restante de la vida de la estrella se desarrolla en los estadios de gigante roja, supergigantes, hasta llegar al estadio terminal como enana blanca.

9.3. LA NUCLEOSÍNTESIS ESTELAR

El curso de la estrella por el diagrama H-R, estará determinado, fundamentalmente por su masa y composición química. Las cenizas del hidrógeno, es decir, el helio, se van concentrando en el núcleo. Cuando éste núcleo inerte alcance un 12% de la masa estelar, se hace inestable, se contrae y la energía gravitacional liberada lo calienta.

Simultáneamente la envoltura exterior de la estrella se dilata enormemente, y por su distensión libera energía térmica enfriándose y ganando el color rojo. He aquí la gigante roja; cuando el Sol entre a esta fase, crecerá en tamaño ganando las órbitas de Mercurio, Venus, Tierra y Marte probablemente.

Mientras esto ocurre en el interior de la estrella el balance de energía de acreción y de presión termonuclear, se hace favorable para un incremento de temperatura hasta 100 millones de °C. A esta temperatura se forma carbono a partir de helio por el proceso triple alfa, también oxígeno, neón y posiblemente magnesio. Si la gran masa de la estrella sigue

siendo el hidrógeno, en la periferia de su núcleo este elemento sigue transformándose en helio.

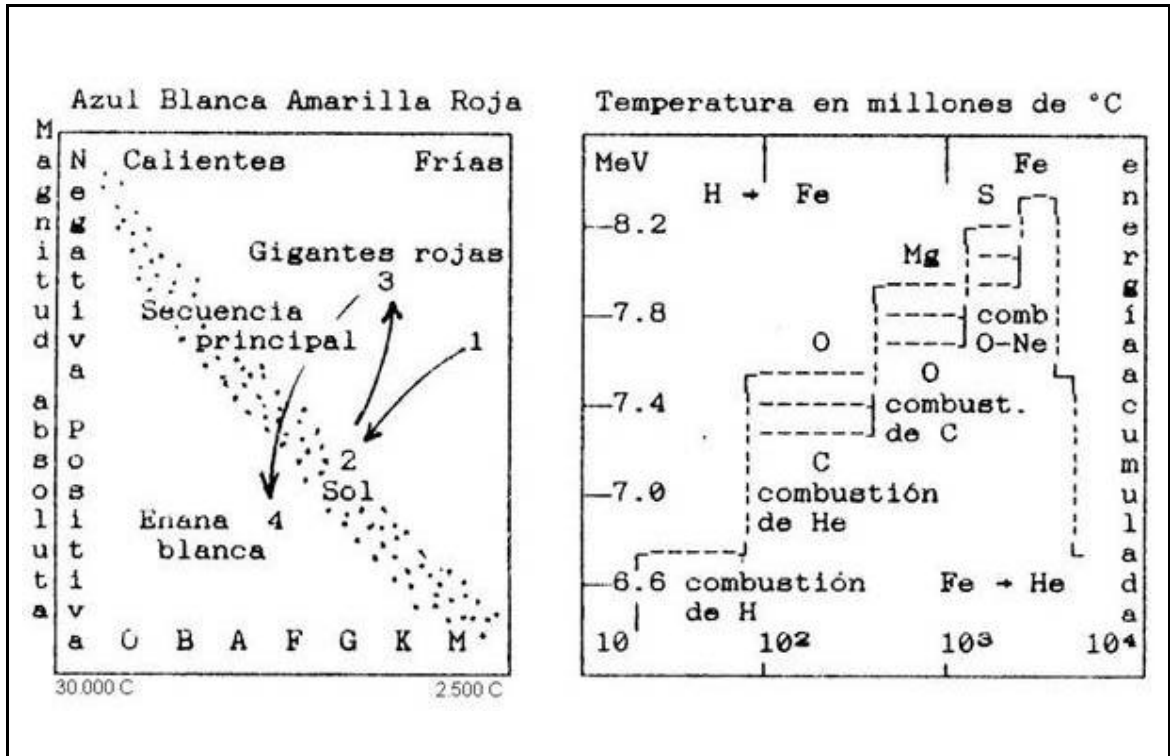


Figura 9.4. La historia del Sol y la nucleosíntesis estelar: En el diagrama HR de la izquierda observamos: 1 = protoestrella, 2 = secuencia principal, 3 = gigante roja, 4 = enana blanca. A la derecha el diagrama de la evolución nuclear estelar con la nucleosíntesis H→Fe y su fisión Fe→He.

A medida que el núcleo se sigue contrayendo la temperatura también crece. Ahora el neón interactúa con núcleos de helio para formar magnesio, y así sucesivamente, aparecerán núcleos de isótopos de elementos con números másicos múltiplos de cuatro hasta el hierro.

Gonzalo Duque-Escobar

Agotado el helio utilizable, por el cese de la presión termonuclear, colapsa el núcleo e incrementa su temperatura a niveles más vertiginosos, que permiten la fusión de núcleos aún más pesados.

En la fase de gigante roja, a mayor masa, mayor temperatura y mayor escala de reacciones hacia los elementos más pesados (Ne, Mg, Si, S, Ca, Ti, Va, Cr, Mn, Fe); más lejos que el hierro no se puede dar fusión, porque este absorbe energía estelar fisionándose en He, con lo cual, el cese súbito de la presión de reacciones hace explotar la estrella en forma de supernova.

La gigante roja se convierte en **enana blanca**, cuando se "tranquilice" el núcleo estelar, permitiendo que la escasa envoltura gaseosa colapse: cada que se agotaba un combustible nuclear se perdía soporte, colapsaba el astro, aumentaba la temperatura, se reencendía el núcleo, entraba un nuevo combustible y la onda de choque afectaba la envoltura de la estrella haciéndole perder masa.

Agotado ya todo combustible, es decir, no siendo posible reencender el horno termonuclear, la enana blanca se transformará en una enana negra, una estrella neutrónica o un agujero negro, dependiendo de la masa final. Si la masa es menor que 1.4 masas solares el colapso del cadáver estelar será detenido por la presión de degeneración de los electrones, quedando una densa estrella negra. Si hay más de 1.4 masas solares se llega al hierro gaseoso, este se convierte en gas de neutrones y la presión de degeneración de los neutrones detiene el colapso de la estrella. Tras esa onda de choque de la supernova se forma la **estrella neutrónica**. Pero si quedan más de 3 masas solares, el colapso de la

estrella supera las presiones de degeneración de electrones y neutrones, apareciendo en la región un **agujero negro**: se rompe el espacio-tiempo.

9.4. ESTRUCTURA DE LAS ESTRELLAS

Tomaremos el Sol como modelo. Se ha visto que el espectro solar informa sobre la temperatura superficial por el color, la temperatura interna por las partículas que escapan del núcleo estelar, también, acerca del tamaño, masa y densidad solares, por la posición de la estrella en el diagrama HR, y otros aspectos como presión, composición química, espesor, etc., gracias al soporte de los modelos teóricos. Las coordenadas del Sol en el diagrama H-R son: magnitud +4.7 y clase espectral G2.

Yendo del interior del Sol a la superficie tenemos:

El núcleo. Generalmente en estado gaseoso y a gran presión; la temperatura supera los 10 millones de °C, la densidad es superior a los 100g/cc y hay reacciones term nucleares de fusión nuclear.

La envoltura. Es la región que envuelve al núcleo, la temperatura exterior es de 5500 °C (bajo la fotosfera), aumentando hacia el interior; la composición química es constante. A través de la envoltura y entre el núcleo y la fotosfera el calor se transfiere por radiación, convección y conducción; los materiales están en continua mezcla, no sólo por la

Gonzalo Duque-Escobar

convección, sino por el giro no rígido del astro que es más rápido en el interior que en el exterior y en el ecuador que en los polos.

La fotosfera. Es la región visible del Sol cuya temperatura, de 5680 °C, se hace menor en las **manchas solares**; ellas están sobre la zona de emergencia de las corrientes de convección y parecen más frías por el efecto de freno de las corrientes magnéticas.

La cromosfera. Región de estructura espicular (en forma de agujas), que rodea la fotosfera; la temperatura aumenta hacia el exterior. Muestra dos aspectos: las **protuberancias**, que son masas gaseosas orientadas por el campo magnético solar a modo de erupciones, y las **fulguraciones** constituidas por plasma solar, es decir, chorros invisibles de gas ionizado, responsables de las auroras polares y las tormentas magnéticas sobre la Tierra.

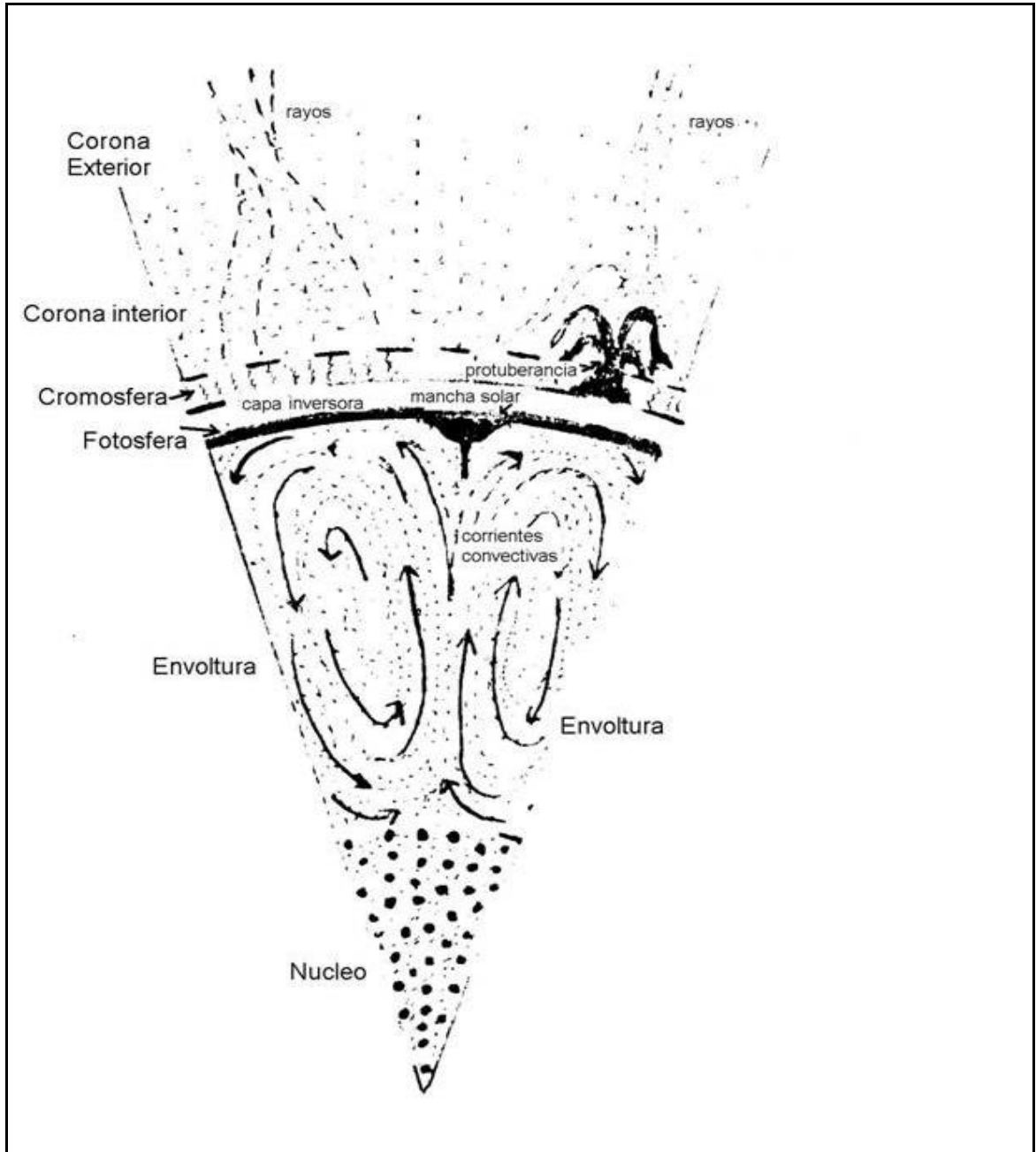


Figura 9.5. Estructura del Sol: corte que muestra las diferentes regiones del Sol, entre su núcleo y la corona exterior. En el núcleo se dan los procesos termonucleares. Fuente: Diccionario Rioduero. Física del Espacio.

La corona. Región más externa que la cromosfera, donde la temperatura se eleva a un millón de °C. Se hace visible en eclipses y provee el viento solar, que se extiende más allá de la Tierra; la forma de la corona se modifica con el número de manchas solares.

El viento solar. Constituido por corrientes de gas más tenues que la corona, con velocidades de cientos de Km/seg; el viento solar se extiende más allá de la Tierra modificando, por presión, la **magnetopausa**.

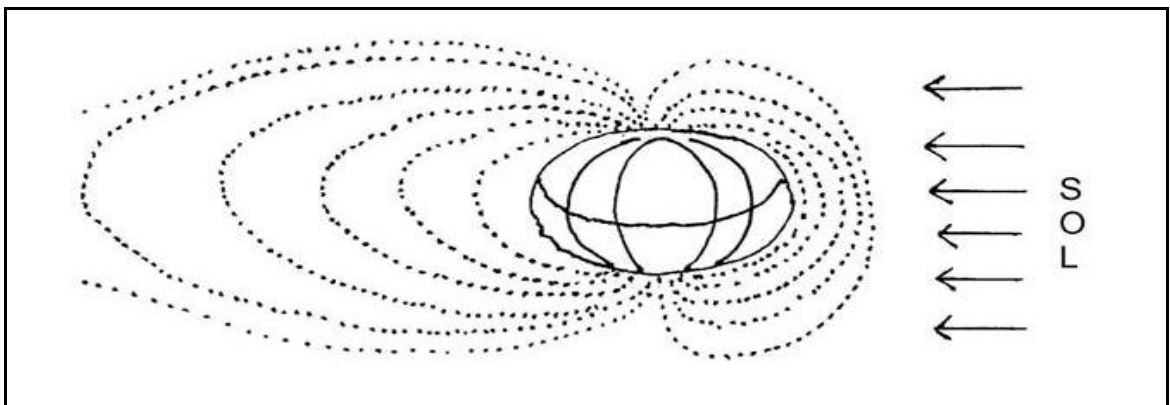


Figura 9.6. Magnetosfera terrestre y viento solar: la magnetosfera terrestre presionada y deformada en la cara diurna por el viento solar, también anuncia las inestabilidades periódicas del Sol.

9.5. DISTANCIA A LOS SISTEMAS ESTELARES

Para conocer la distancia a las estrellas cercanas, aplicamos métodos de triangulación, como la medida de la **paralaje** estelar, donde se utiliza el semidiámetro de la órbita terrestre como base de observación. Este método tiene un alcance hasta 100 parsec.

Supongamos una estrella cercana. Al observarla desde los extremos de un diámetro de la órbita de la Tierra (observaciones separadas seis meses), la imagen de la estrella aparecerá proyectada sobre la bóveda celeste en dos puntos distintos (A y B). Como el diámetro de la Tierra se conoce, el triángulo que hacen las visuales, cuya base mide dos U. A., tiene solución. Es este un problema sencillo de resolver, máxime cuando siempre el estrecho ángulo entre A y B es pequeño. Si se procuran relativamente iguales los ángulos en A y B las dos visuales se hacen relativamente iguales y por lo tanto el gran triángulo TET se asume isósceles. En este caso, el método de triangulación llega a su máximo alcance y se pueden tratar las distancias SE y ST como los catetos de un triángulo rectángulo en S.

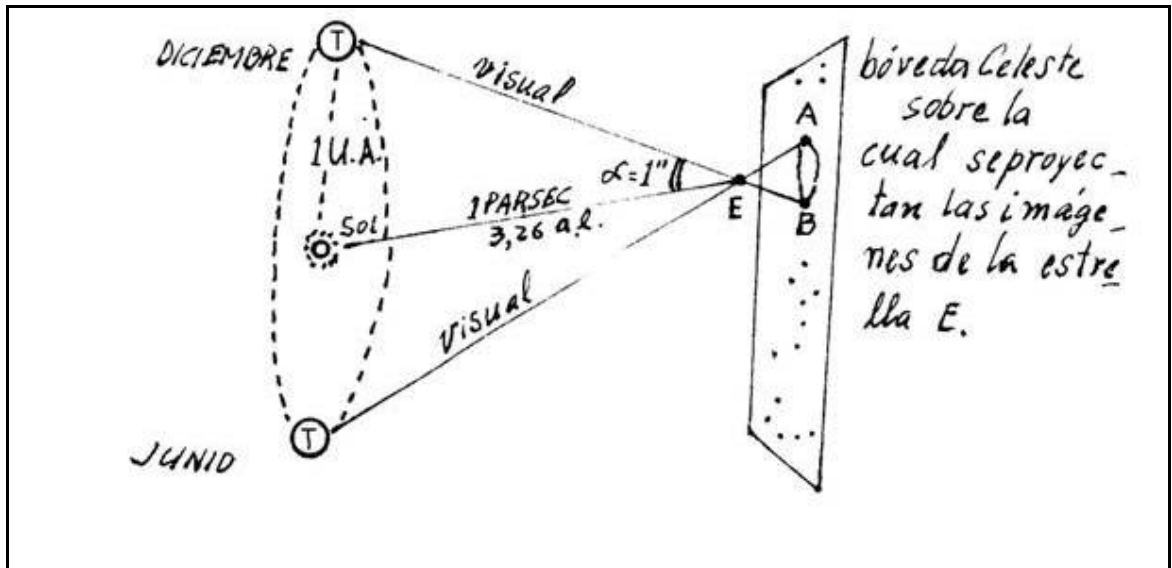


Figura 10.1. La paralaje de una estrella: método útil para triangular la distancia hasta las estrellas cercanas. Un Psc equivale a 3,26 al y a una paralaje de 1" de arco.

Gonzalo Duque-Escobar

Si el arco AB midiera dos segundos, el ángulo alfa, media de AB, valdría un segundo de arco, y la distancia del Sol a la estrella, SE, mediría un parsec, distancia equivalente a 3,26 años luz. El ángulo alfa se denomina la paralaje de la estrella y las posibilidades de aplicar este método cubren los 30 parsecs utilizando sistemas convencionales de medida angular, o los 100 parsecs refinando las medidas y aceptando incertidumbre en la distancia estimada. La estrella Polar está en esa frontera.

Otras estrellas **variables pulsantes**, si tienen períodos de oscilación en el brillo, permiten el cálculo de distancias mayores (que es la misma para todo el cúmulo estelar al cual pertenecen). Este método sirvió para determinar la distancia a la galaxia Andrómeda, que inicialmente se estimó en un millón de años luz y que, posteriormente, cuando se advierte la diferencia entre cefeidas (de la población I y de la población II), se encuentra que la distancia a Andrómeda estaba errada.

Para los sistemas estelares más lejanos, nos basamos en el **corrimiento al rojo** que muestran las galaxias, como nubecillas en las cuales ya no se hace posible diferenciar estrellas individuales. No obstante, el comparar galaxias de un mismo tipo o forma, nos permite afirmar con alguna aproximación que las que aparecen en las imágenes con menor tamaño y brillo se encuentran a mayores distancias, que sus similares de gran tamaño y luminosidad.

Existen otros métodos paraláxicos absolutos, diferentes al trigonométrico ya explicado. Entre ellos, el secular que utiliza el desplazamiento del Sol en la galaxia. En este caso se valora la longitud de la fracción de órbita solar recorrida por nuestro sistema solar durante un año y se considera además el movimiento propio de la estrella o del cúmulo

estelar observado, para valorar la distancia a dicho sistema. Este método tiene un alcance de unos 5 mil parsec, con lo que se pueden estimar de forma confiable los grupos de estrella cercanos.

9.6. GLOSARIO DE ESTRELLAS

Estrella A: Estrella de tipo espectral A, con temperatura aproximada de 10000°C.

Estrella B: Estrella de tipo espectral B; estrellas de luminosidad azulada, con temperaturas alrededor de los 25000°C; las líneas de helio son características en el espectro.

Estrella de Barnard: Llamada así en honor del astrónomo E. E. Barnard; la estrella fija (débil) con el movimiento propio mayor que se conoce hasta ahora, de aproximadamente 10.34" al año; a una distancia de 5.9 años luz del Sol.

Estrella C: Estrella de carbono.

Estrella Central: La estrella situada en el centro de una nebulosa planetaria, que excita a lucir a las masas gaseosas de la nebulosa con su radiación.

Gonzalo Duque-Escobar

Estrella F: Estrella de tipo espectral F; son estrellas con temperaturas superficiales entre 7000 y 9000°C; son características las líneas H y K, del calcio ionizado simplemente, así como líneas metálicas.

Estrella fugaz: Meteoro.

Estrella G: Estrella de tipo espectral G; temperatura superficial de 4500 a 6000°C; las líneas H y K, de calcio ionizado simplemente, son las más fuertes; las líneas de hierro se hacen cada vez más fuertes; el Sol es una estrella G2.

Estrella Granate: La estrella μ Cephei, irregularmente variable, con una tonalidad rojiza fuerte.

Estrella guía: Aquella estrella que se mantiene siempre en la cruz reticular del telescopio guía, con el correspondiente seguimiento al hacer fotografías celestes de larga duración.

Estrella de helio: 1) una estrella con alto contenido de helio. 2) Las estrellas de los antiguos tipos espectrales W, O y B, en las que las líneas espectrales del helio aparecen en forma especialmente clara.

Estrella de hierro: Una estrella en cuyo espectro aparecen, llamando especialmente la atención, las líneas espectrales del hierro.

Estrella K: Estrella de tipo espectral K; con un suave resplandor rojizo; temperatura por debajo de 4000°C ; son típicas las líneas espectrales de metales; sobre todo, de óxido de titanio y calcio.

Estrella M: Estrella de tipo espectral M; las características principales son las bandas de óxido de titanio; la banda G está separada en líneas individuales; la temperatura está por debajo de los 4000°C .

Estrella N: Una estrella de luminosidad roja de la última clase espectral N; son dominantes las bandas espectrales de cianógeno y monóxido de carbono.

Estrella del Norte: La estrella Polar.

Estrella O: Estrella de la primera clase espectral; estrellas de luminosidad azulada, con temperaturas por encima de los 25000°C ; son características las líneas de absorción del helio ionizado.

Gonzalo Duque-Escobar

Estrella Polar: Polaris, estrella del Norte, Kynosura; la estrella de la cola de la Osa Menor; alejada en 1974 55' del polo norte celeste y en el año 2100 solo 28'. A causa de la precesión, también pueden ser E. P. otras estrellas, por ejemplo en 12500 años, Vega, en la constelación de Lira.

Estrella Principal: La componente de mayor masa o la más luminosa en un sistema de estrellas dobles o múltiples.

Estrella R: Estrella de la última clase espectral R; caracterizada por la aparición de bandas de cianógeno y de monóxido de C.

Estrella S: Estrella "roja" de la clase espectral S; son típicas las bandas de óxido de circonio.

Estrella de Tycho: Una supernova descubierta por Tycho Brahe en 1572, en la Constelación de Casiopea.

Estrellas de alta velocidad: Estrellas con una velocidad relativa, respecto del Sol, de un orden de magnitud de 100 a 200 km/seg; se trata de estrellas de la población halo, que circundan el centro galáctico en largas órbitas elípticas.

Estrellas de campo: Todas las estrellas de un sistema estelar que no pertenecen al cúmulo estelar.

Estrellas de carbono: Estrellas rojas (baja temperatura) de los tipos espectrales R y N, con fuertes bandas de absorción de carbono y cianuro.

Estrellas circumpolares: Estrellas que nunca desaparecen debajo del horizonte; su distancia al polo celeste es menor siempre que la latitud geográfica del lugar de observación. El Sol de medianoche es un caso especial de una estrella circumpolar.

Estrellas de cúmulo: Todas las estrellas de un sistema estelar que pertenecen a cúmulos estelares, en contraposición con las estrellas de campo.

Estrellas enanas: Estrellas de escasa luminosidad, situadas en el diagrama de Hertzsprung-Russell por debajo de la secuencia principal. Enanas Blancas.

Estrellas con envoltura: Estrellas con una envoltura gaseosa dilatada; casi siempre, alrededor de estrellas de rotación rápida.

Gonzalo Duque-Escobar

Estrellas fijas: Cuerpos celestes con luz propia que **aparentemente** no varían su posición; lo opuesto: los **planetas**.

Estrellas fundamentales: Una selección de estrellas (reunidas en el **Catálogo fundamental**) cuya posición fue observada con la máxima precisión desde diferentes observatorios; representan el sistema de coordenadas astronómico (**sistema fundamental**).

Estrellas fundamentales de tiempo: Estrellas especialmente seleccionadas y exactamente medidas en la proximidad del ecuador celeste para la determinación astronómica exacta del tiempo.

Estrellas gigantes: Estrellas fijas con un diámetro y una gran luminosidad. **Diagrama de Hertzsprung-Russell**.

Estrellas con líneas metálicas: Estrellas con muchas o enormemente fuertes líneas espectrales de metales.

Estrellas magnéticas: Estrellas que muestran un efecto Zeeman de las líneas espectrales tan grande, que se ha de suponer la existencia de campos magnéticos muy fuertes (de hasta 30.000 Gauss), que también pueden ser variables (**variables magnéticas**); parece que hay una relación entre la alta velocidad de rotación y un campo magnético estelar.

Estrellas móviles: Los planetas, en contraposición con las estrellas fijas. .

Estrellas my Cephei: Estrellas μ Cephei: variables semiregulares cuya curva de luz casi siempre es de forma ondulatoria; la causa del cambio de luz de las supergigantes es desconocida.

Estrellas de neutrones: Estado final del desarrollo de una estrella si la estrella original tenía de tres a nueve veces la masa solar, si ha consumido la reserva de hidrógeno, si ha recorrido el estado de las gigantes rojas, si después de inestabilidades ha tenido lugar una erupción supernova (masa del estado final inferior a dos veces la masa solar: **límite de Oppenheimer-Volkoff**). Como residuos de una supernova, las e. de n. están constituidas por gas de neutrones puro (densidad comparable a la densidad en el núcleo atómico, aproximado de 10^9 a 10^{15} g/ cm³); una estrella de neutrones de masa solar tiene un diámetro aproximado de 15 km. Pulsares, enanas blancas, agujero negro.

Estrellas peculiares: Estrellas con peculiaridades en el espectro; caracterizadas con una p detrás de la clasificación del tipo espectral (por ejemplo: A2 p).

Estrellas Runaway: estrellas de las primeras clases espectrales (O y B), con velocidades espaciales muy altas; probablemente, provienen de asociaciones estelares; quizás, también de sistemas de estrellas dobles fraccionados, una de cuyas componentes ha sufrido una erupción supernova.

Gonzalo Duque-Escobar

Estrellas de la secuencia-principal: Estrellas en la secuencia principal del diagrama de Hertzsprung-Russell; un representante típico es nuestro Sol.

Estrellas de tipo Algol: Una clase de variables eclipsantes; prototipo Algol.

Estrellas tipo Mira: Estrellas variables de largo período (períodos entre 83 y 1374 días); pertenecen a los últimos tipos espectrales (escasa temperatura superficial); se trata de supergigantes con diámetros algunos cientos de veces mayores que el del Sol.

Estrellas de Trümpler: Estrellas hipotéticas con masas algunos cientos de masas solares; estas estrellas tienen que ser inestables.

Estrellas W: Las estrellas de Wolf-Rayet.

Estrellas WC: Grupo de las estrellas Wolf-Rayet.

Estrellas Wolf-Rayet: Estrellas fijas (clase espectral W) con temperaturas superficiales extremas (80.000°K) y una envoltura gaseosa que manifiesta expansión. En el espectro son características las líneas del carbono ionizado por primera-tercera vez (estrellas WC) o del nitrógeno ionizado por segunda-cuarta vez (estrellas WN).

Estas definiciones se han tomado del Diccionario Rioduero-Física del Espacio, 1978.