

CAPÍTULO 2

CAPITULO 2: EL SOL UNA BASTA FUENTE DE ENERGÍA NATURAL

2.1 Introducción

Es una estrella que tiene una importancia vital para nuestro planeta, sin él no habría vida en la Tierra. Es la fuente primaria de luz, calor y energía para el planeta y su crucial significado fue reconocido por las civilizaciones antiguas. Las cuales lo consideraban como una divinidad. Hoy en día, sabemos que el sol es una estrella ordinaria que no ocupa ninguna posición privilegiada en la Galaxia [2].

2.2 El Sol

Es una estrella ordinaria de mediana edad. Se cree que tiene como mínimo una edad de 4.6×10^9 años y que esta aproximadamente a la mitad de su vida estable. Es miembro de un inmenso sistema o galaxia constituido por un bulbo central de estrellas rodeado por un disco relativamente delgado formado por estrellas junto con nubes de gas y polvo. Comparte la rotación general de la galaxia con los planetas y otros cuerpos celestes [2].

Igual que otras estrellas, es un globo luminoso que genera energía por medio de reacciones nucleares que tienen lugar a gran profundidad en su interior. Formado principalmente por hidrogeno y helio, siendo solo menos de un 2% el resto de elementos químicos. Es la única estrella cuya superficie puede verse y estudiarse directamente. Posee una forma esférica y por su lento movimiento de rotación, presenta un leve achatamiento en los polos. Tiene una masa de 19891×10^{30} Kg aproximadamente y su densidad es 1414×10^3 Kgm^{-3} , un poco menos de una vez y media la densidad del agua. Como todos los demás cuerpos de suficiente masa, presenta gravedad, ya que todas las partículas que lo constituyen son atraídas hacia el centro del objeto. El plasma que forma al Sol se encuentra en una especie de equilibrio puesto que la creciente presión en el interior hace que se compense la atracción gravitatoria que presenta, con lo cual se produce un equilibrio hidrostático. Y la presión que aparece en la masa de cualquier estrella es causada por la densidad y la temperatura creciente del material en el interior, así como también por la presión de radiación causada por el flujo de fotones emitidos [2].

2.3 Estructura del sol

El Sol por ser un gran cuerpo esférico presenta una estructura de capas esféricas, similar a las capas que presentan las cebollas. Las divisiones físicas así como las diferencias químicas entre las capas son difíciles de establecer. Pero a pesar de esto, aun se puede establecer una función física que es diferente para cada una de las capas [1].

Hoy en día se dispone de un modelo de estructura solar de capas que explica satisfactoriamente la mayoría de los fenómenos observados. Y por lo cual sabemos que el Sol está formado por:

- Núcleo
- Zona radiante
- Zona convectiva
- Fotosfera
- Cromosfera
- Corona
- Viento solar.

2.3.1 Núcleo

Se sabe que ocupa unos 139.000 km del radio solar, lo que equivale a casi $\frac{1}{5}$ del mismo, y es en donde se realizan las reacciones termonucleares. También llamado el horno solar, ya que es donde se genera toda la energía que el Sol produce. Nuestra estrella está constituida por un 92 % de hidrógeno, 7 % de helio y el 1 % restante que se reparte entre otros elementos, dentro de los cuales, los más abundantes son el oxígeno y el nitrógeno [1].

Su centro se encuentra formado, según cálculos, de un 49 % de hidrógeno, 49 % de helio y el 2 % restante en otros elementos que sirven de catalizadores en las reacciones termonucleares. Es lo que los científicos han calculado debido a que en el centro es donde se realizan las reacciones termonucleares que transforman el hidrógeno en helio. El núcleo ha agotado, aproximadamente la mitad de su combustible nuclear y como no se presenta convección, no se renueva el núcleo con nuevas masas de hidrogeno; el resto del sol actúa como una pared que rodea al horno. Como no se renueva la materia,

cada vez hay mas helio y menos hidrogeno en el núcleo. Y llegará un momento en que se agotará el hidrógeno. Con lo cual el sol se contraerá provocando un calentamiento mientras tanto, nuevas partes del interior alcanzaran la presión y temperatura adecuada para que comiencen de nuevo las reacciones termonucleares. Pero ahora el sol se hinchará y se convertirá en una estrella gigante roja. Pero esto será dentro de miles de millones de años, ya que con un sol así, sería imposible la vida sobre la Tierra [1].

A principios de los 30 el fisico Fritz Houtermans (1903-1966) y el astrónomo Robert d'Escourt Atkinson (1898-1982) se unieron para averiguar si la producción de energía en el núcleo del Sol y en las estrellas se podía explicar por las transformaciones nucleares. En 1938 el estadounidense Hans Albrecht Bethe (1906-) y el alemán Carl Friedrich von Weizsäker (1912-), de forma independiente, dedujeron simultáneamente el hecho de que un grupo de reacciones en las que intervienen como catalizadores tanto el carbono como el nitrógeno, constituyen un ciclo repetitivo mientras dura el hidrógeno. A estas reacciones se llaman "ciclo de Bethe o del carbono", lo cual es equivalente a la fusión de cuatro protones en un núcleo de helio. Es obvio que en estas reacciones de fusión hay pérdidas de masa, es decir, que el hidrógeno consumido pesa más que el helio producido. Por tanto, la diferencia de masa que se da se transforma en energía según la ecuación de Einstein [3].

$$E = mc^2 \quad [2.1]$$

Donde E es la energía, m la masa y c la velocidad de la luz.

El resultado de estas reacciones nucleares, es la transformación del 0.7 % de la masa en fotones, con una longitud de onda corta, lo cual causa que sea muy energética y penetrante. La energía producida hace que el núcleo se caliente hasta temperaturas de 10 a 20 millones de grados. La energía liberada en el proceso es aproximadamente de 26.7 MeV, es decir, como 6.7×10^{14} Julios por kg de protones consumidos. El carbono es el que actúa como catalizador, pues al final del ciclo se regenera [3].

2.3.2 Zona radiante

Es la zona que esta fuera del núcleo, aquí el transporte de la energía generada en el núcleo se produce por radiación hasta el límite exterior de la zona radiante. Esta compuesta de plasma, en otras palabras, grandes cantidades de hidrógeno y helio

ionizado. Y es mas fácil que un fotón cualquiera se mueva del centro a la periferia que al revés ya que temperatura del Sol decrece del núcleo a la periferia. Pero a pesar de esto, los fotones deben avanzar por un medio ionizado demasiado denso siendo absorbidos y reemitidos infinidad de veces en su camino. Se calcula que cualquier fotón tarda un millón de años, en alcanzar la superficie y manifestarse como luz visible [1].

2.3.3 Zona convectiva [1]

Esta región se encuentra encima de la zona radiante, en ella los gases solares dejan de estar ionizados, por lo cual los fotones son absorbidos más fácilmente con lo cual el material se vuelve opaco al transportar la radiación. Todo esto ocasiona que el transporte de la energía se haga por medio de convección, con lo cual tenemos que el calor se transporta de manera no homogénea y turbulenta por el propio fluido.

Estos fluidos se dilatan al calentarse con lo cual disminuyen su densidad. Por lo que se forman corrientes ascendentes de material desde el núcleo hasta la zona superior, y a su vez también se producen movimientos descendentes de material desde las zonas exteriores frías. A unos 200,000km bajo la fotosfera del Sol, el gas se vuelve opaco por la disminución de la temperatura, es decir, que absorbe los fotones de las zonas inferiores y se calienta a expensas de su energía. Y esto nos da secciones convectivas turbulentas, donde porciones de gas caliente y ligero suben hasta la fotosfera, donde la atmósfera solar se vuelve transparente a la radiación y el gas caliente cede su energía en forma de luz visible, para luego enfriarse antes de volver a descender de nuevo.

2.3.4 Fotosfera

Considerada como la superficie solar. Pero por encima de ella existen aún capas más altas. Como su densidad es pequeña se le considera como la atmósfera del sol. Es la superficie que vemos con nuestros ojos, pero vista a través de un telescopio, se ve formada por gránulos brillantes que se proyectan sobre un fondo más oscuro. Esta es la zona desde la que se emite la mayor parte de luz visible. Ya que el Sol es gaseoso, su fotosfera es algo transparente, por lo cual puede ser observada hasta una profundidad de unos cientos de kilómetros antes de que sea completamente opaca. Se considera que la fotosfera solar tiene unos 100 o 200km de profundidad [1].

Aunque el borde o limbo del Sol da la apariencia de ser muy nítido en fotografías o a través de un telescopio, se aprecia que el brillo del disco solar disminuye hacia el borde. Este fenómeno de oscurecimiento del centro al limbo se puede explicar como consecuencia de que el Sol es un cuerpo gaseoso con una temperatura que disminuye con la distancia al centro. Esta luz que se ve en el centro es generada en su mayoría de las capas inferiores de la fotosfera, más caliente y por tanto más luminosa. Al mirar hacia el limbo, la dirección visual del observador es casi tangente al borde del disco solar por lo que la radiación procedente sobre todo de las capas superiores de la fotosfera, más frías y emitiendo con menor intensidad que las capas profundas en la base de la fotosfera [3].

En la Fotosfera los fotones procedentes del interior quedan libres y pueden llegar directamente hasta nosotros. Aproximadamente un fotón tarda un millón de años en atravesar la zona radiante de 500,000km de grosor y un mes en recorrer los 200,000km de la zona convectiva, pero solo tarda 8 minutos en cruzar los 300,000km de distancia entre la Tierra y el Sol. Esto se debe a que en el exterior del Sol el camino de los fotones no se ve obstaculizado por los continuos cambios, choques, quiebres y turbulencias que experimentaban en el interior del Sol [1].

Los gránulos brillantes de la fotosfera generalmente tienen forma oval, tal como se muestra en la figura 2.2. Están formados por partes más brillantes en el centro y más oscuras en los bordes; los gránulos parecen en contacto unos con otros, y toda la Fotosfera está llena de ellos. El tamaño que ocupa cada gránulo es de 1,000 a 2,000km de diámetro, y tienen una vida de pocos minutos. Al difundirse, otro toma su lugar al poco rato. Esto es evidencia del movimiento convectivo de los gases calientes en la parte exterior del Sol. Es decir, la fotosfera es una masa en continua ebullición en el que las células convectivas se ven como gránulos en movimiento cuya vida media es tan solo de unos nueve minutos. Hay también movimientos turbulentos a una escala mayor, el renombrado **supergránulo**, este contiene cientos de gránulos individuales, pueden extenderse en un diámetro de hasta 30,000km y sobrevive entre 12 a 24 horas [1,2].

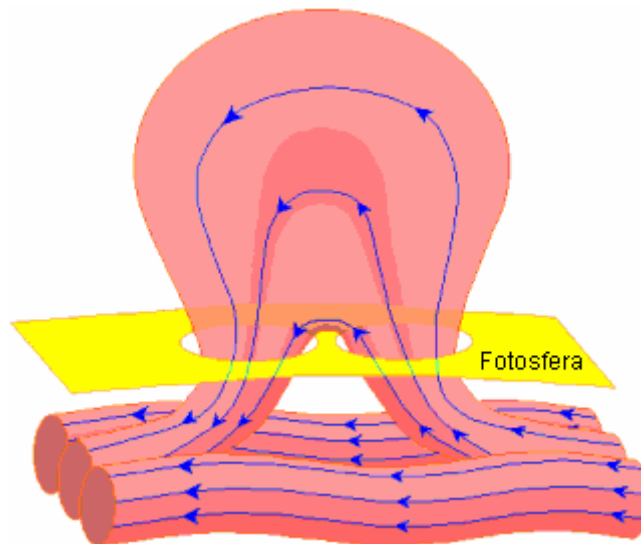


Figura 2.2 Gránulo en la Fotosfera [3]

A veces, las columnas convectivas que transportan material caliente y se manifiestan en forma de gránulos se cortan y dejan de aflorar en ese punto. Con lo cual, esa zona de convección se enfría más que el resto de la superficie solar que le rodea y por tanto, aparece allí una mancha. Una mancha solar consiste en una región central oscura, llamada **umbra**, rodeada por una **penumbra** más clara. Se puede apreciar un grupo de manchas solares en la figura 2.3. Una sola mancha puede llegar a medir hasta 12,000km, pero un grupo de manchas puede alcanzar 120,000km de extensión e incluso algunas veces más [2].

La penumbra se encuentra formada por una estructura de filamentos claros y oscuros que se extienden más o menos radialmente desde la umbra. Ambas se ven oscuras por contraste con la fotosfera, debido a que están más frías que la temperatura media de la fotosfera. La umbra emite un 32 % de la luz emitida por un área igual de la Fotosfera y análogamente la penumbra tiene un brillo de un 71 % de la Fotosfera. La oscuridad de una mancha se causa por un efecto de contraste; si pudiéramos ver a una mancha con una umbra del tamaño de la Tierra, aislada y a la misma distancia que el Sol, brillaría 50 veces más que la Luna llena [2].

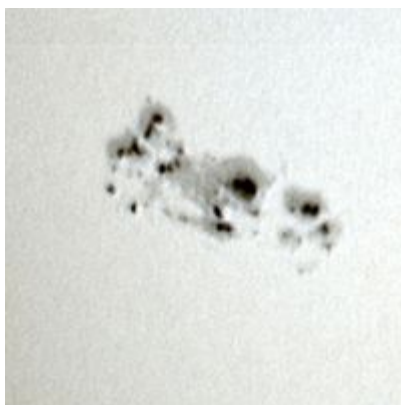


Figura 2.3 Manchas solares en la Fotosfera [2]

2.3.5 Cromosfera

Es una capa exterior a la fotosfera que es más transparente. Se considera como la atmósfera baja del sol. Cuenta con un tamaño de 10,000km aproximadamente y es imposible de observarla sin filtros especiales al ser eclipsada por el mayor brillo de la Fotosfera. A pesar de lo anterior, se puede observar en un eclipse solar, donde tiene un tono rojizo característico y en longitudes de onda, una longitud de onda característica de la emisión por hidrógeno a muy alta temperatura. En ella se dan los fenómenos más espectaculares. En ella se produce una notable inversión del gradiente térmico, es decir, que la temperatura ha venido descendiendo gradualmente desde el núcleo del sol hasta la fotosfera. A una determinada altura de la Cromosfera alcanza su valor mínimo de $4,500^{\circ}$. Y desde ahí, la temperatura sube rápidamente hasta alcanzar valores de más de $100,000^{\circ}$. Esto se debe a los campos magnéticos, que provocan la ionización de las partículas cromosféricas, en otras palabras, son átomos de hidrógeno en los que quedan disociados iones y electrones, con lo cual se provoca la vibración de estas partículas hasta hacerlas alcanzar tan altas temperaturas [1].

2.3.6 Corona solar

La figura 2.4 nos muestra como se ve la corona solar. Esta formada por las capas más tenues de la atmósfera exterior solar. Su temperatura alcanza los millones de grados, lo cual es superior a la de la capa que le sigue, la fotosfera. Estas temperaturas son consecuencia de la alta velocidad y vibración de las escasas partículas que componen la atmósfera solar. Debido a su baja densidad sus materiales tienen grandes velocidades, al igual también se debe a los intensos campos magnéticos emitidos por el Sol y a las ondas de choque que rompen en la superficie solar. No existe una frontera bien definida

entre la Cromosfera y la corona. Desde la corona se emite gran cantidad de energía en rayos X. Estas temperaturas no son más que un indicador de las altas velocidades que alcanza el material en la corona que se acelera en las líneas de campo magnético y en dramáticas eyecciones de dicho material. La corona solar solamente es observable desde el espacio con instrumentos adecuados o durante un eclipse solar natural desde la Tierra [1].

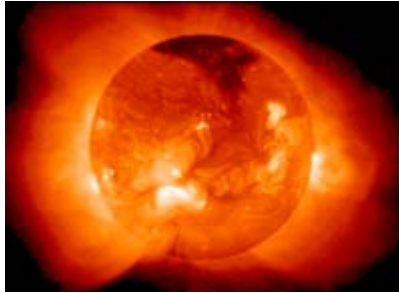


Figura 2.4 Corona Solar [2]

2.3.7 El viento solar

Gracias a la radiación solar el material tenue de la corona es continuamente expulsado originando un viento solar. El viento solar es una lluvia de partículas que parte del sol, a velocidades de 300 a 700km por segundo, se extiende hasta espacios inmensos. Estas partículas son iones núcleos atómicos y electrones. Estas cargas pueden llegar a influir en los campos magnéticos de los planetas. Cuando se produce un viento solar intenso, se forman auroras polares, hay interferencias en las transmisiones por radio y televisión. Entre mayor es la velocidad de las partículas que forman un viento solar, mayor es su intensidad. El viento solar tiende a decolorar los planetas y satélites desprovistos de atmósfera y tienen un papel decisivo en la orientación de la cola de los cometas [1].

2.4 Energía solar

Ahora que hemos visto lo que es el sol y como se compone, podemos hablar de una forma más específica de lo que nos da. Anteriormente se comentó como obteníamos energía solar de forma indirecta y como otras formas de producir energía eran afectadas de forma indirecta por la energía solar.

Sin embargo, hoy en día el uso directo de energía solar para la obtención de energía no está aún muy extendido debido a que los mecanismos actuales no son suficientemente eficaces. La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol es de aproximadamente $1,366 \text{ joules/seg}\cdot\text{m}^2$ (la constante solar), pero dicha distancia no es constante, ya que parece ser que varía un 0.2% en un periodo de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera [4].

La intensidad de energía solar disponible en un lugar determinado de la Tierra depende tanto del día, del año, de la hora y de la latitud. Siendo también un factor importante la orientación del dispositivo receptor para la cantidad de energía solar que se pueda recoger [4].

2.4.1 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es un sistema de aprovechamiento muy extendido. El medio para conseguir este aporte de temperatura se hace por medio de colectores, dichos colectores son superficies, que expuestas a la radiación solar, permiten absorber su calor y transmitirlo a un fluido. Existen tres técnicas diferentes en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captadora. Por consecuencia se pueden clasificar como:

- **Baja temperatura:** captación directa, la temperatura del fluido es por debajo del punto de ebullición.
- **Media temperatura,** captación de bajo índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada de 100°C .
- **Alta temperatura,** captación de alto índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada de 300°C .

Como ejemplo de estos recolectores tenemos a los discos parabólicos, la figura 2.5 nos muestra como se ven. Un disco parabólico es un dispositivo colector que rastrea el sol en 2 ejes, concentrando la radiación solar en un receptor ubicado en el foco de la parábola. Este receptor absorbe la energía convirtiéndola en energía térmica. La energía puede ser convertida inmediatamente después mediante un generador a energía eléctrica

o ser conducida mediante tuberías a una central de conversión. Estos colectores parabólicos están orientados directamente al sol, son los más eficientes de todos los colectores, tienen radios de concentración de alrededor de 600 a 2000, es decir que concentran 600 veces o más la luz solar que reciben, pueden alcanzar temperaturas superiores a los 1500 °c, este tipo de sistema usa como fluido aceite o vapor de agua [9].



Figura 2.5 Un sistema de discos parabólicos [9]

2.4.2 Energía Solar Fotovoltaica [4]

El sistema de aprovechamiento de la energía del Sol para producir energía eléctrica se denomina conversión fotovoltaica. Las células solares están fabricadas de materiales con propiedades específicas, denominados semiconductores. Para entender el funcionamiento de una célula solar, se debe de entender primero las propiedades de estos semiconductores.

Los electrones que orbitan al rededor del núcleo atómico no pueden tener cualquier energía, tienen valores determinados, que son denominados niveles energéticos a los cuales se les pone nombre: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p. Las propiedades químicas de los elementos están determinadas por el número de electrones en su última capa y por electrones que faltan para completarla.

En el silicio, que es el material que se usa para la construcción de las celdas solares, en su última capa, posee cuatro electrones y faltan otros cuatro para completarla. Cuando los átomos de silicio se unen a otros átomos, estos comparten los electrones de las últimas capas, formando lo que se denomina enlace covalente. Estas agrupaciones dan

lugar a una estructura cristalina. Y del mismo modo que los electrones de un átomo no pueden tener cualquier energía, los electrones de un cristal tampoco pueden tomar cualquier energía.

Para entender mejor lo antes mencionado, primero debemos ver los tipos de materiales existentes, así como su conductividad.

- **Conductores:** disponen de electrones de valencia poco ligados al núcleo y que pueden moverse con facilidad dentro del cristal mediante un estímulo externo.
- **Semiconductores:** sus electrones de valencia están más ligados a sus núcleos que los conductores, pero al suministrar una pequeña cantidad de energía se comportan como estos.
- **Aislantes:** los electrones de valencia están fuertemente ligados al núcleo y la energía que se tendría que suministrar para que sus electrones de valencia pudieran desprenderse del átomo sería excesivamente grande.

Con lo anterior podemos decir que a cierta temperatura, algunos electrones tendrán energía suficiente para desligarse de los átomos, estos electrones libres se les asocia con los niveles energéticos de la banda de conducción. Y los enlaces que dejan vacíos se les denominan "**huecos**", los cuales se comportan de la misma forma que partículas con carga positiva.

Para generar una corriente eléctrica hace falta un campo magnético, que se consigue con la unión de dos cristales semiconductores, uno de tipo "p" y otro de tipo "n". Estos semiconductores se consiguen mediante la inserción de impurezas a un cristal semiconductor muy puro. Si a una de las regiones se le inserta fósforo, el cual tiene cinco electrones de valencia, de forma que esta región muestra una afinidad por los electrones mayor que el silicio puro. Por lo cual a esta región se le llama de tipo n. Mientras a la otra región se le inserta boro, que tiene tres electrones de valencia, por lo cual esta región muestra una afinidad menor por los electrones que el silicio puro. Y por tanto a esta región se le conoce como de tipo p.

De esta forma, teniendo un cristal semiconductor de silicio formado por una región tipo p y otra tipo n, se consigue una diferencia de potencial que hace que los electrones tengan menos energía en la zona n que en la zona p. Por eso los electrones son enviados

a la zona n y los huecos a la zona p. Cuando inciden fotones sobre este tipo de semiconductor, unión p-n, es cuando entonces se rompen algunos enlaces, lo que genera pares electrón-hueco.

Para que las celdas solares puedan suministrar energía al exterior, están provistas de mallas metálicas, tienen partes metálicas por la que circula al exterior la corriente eléctrica generada. Si esto se produce a una distancia de la unión menor que lo que se denomina longitud de difusión, estos pares serán separados por el fuerte campo eléctrico que existe en la unión, lo cual mueve el electrón hacia la zona n y el hueco hacia la zona p. De esta forma se da una corriente de la zona n a la zona p. Y cuando estos electrones son recolectados por la malla, obtendremos energía eléctrica. Si la longitud de difusión es muy corta, el par electrón-hueco, se recombinará, y nos generará calor.

No todos los fotones incidentes generan electricidad, hay factores que hacen que existan pérdidas:

- **Energía de fotones incidentes:** a veces los fotones incidentes no disponen de la energía necesaria para romper un enlace covalente y crear un par electrón-hueco o el fotón tiene demasiada energía, lo cual se disipa en forma de calor.
- **Recombinación:** es cuando los electrones liberados ocupan un hueco próximo a ellos.
- **Reflexión:** parte de la radiación incidente en la celda es reflejada.
- **Malla metálica:** estos contactos eléctricos en el exterior de la celda, disminuyen la superficie de captación.
- **Resistencia serie:** es el efecto Joule producido por el paso de electrones a través del silicio, la malla metálica y la resistencia de la conexión eléctrica exterior.
- **Resistencia paralelo:** tiene origen en las imperfecciones de la unión p-n, creando fugas de corriente.

Estas celdas conectadas entre sí, y montadas en un módulo se le conocen como panel solar. Cuyas características eléctricas se determinan por el número y forma de conectar las celdas.

- **Conexión serie:** se conectan de forma que el lado p sea conectado con el lado n de otra celda de forma sucesiva dejando cada extremo con un lado n y otro p. El voltaje generado de celda se suma y la corriente es el valor de una celda.

- **Conexión paralelo:** se conectan todos los lados de tipo p por un lado y los de tipo n por otro. EL voltaje generado es el de una celda y la corriente es la suma de todas.
- **Conexión mixta:** es una combinación de la conexión en serie y en paralelo de las celdas. El voltaje generado es la suma de los voltajes de las celdas en serie y la corriente es la suma de todas las celdas en paralelo.

$$I_{\text{total}} = I \times \text{número de celdas en paralelo}$$

$$V_{\text{total}} = V \times \text{número de celdas en serie}$$

Existen varios tipos de Celdas fotovoltaicas, que se diferencian ya sea por su forma de fabricación de las celdas o por su aplicación.

- Silicio monocristalino
- Silicio policristalino
- Silicio amorfo
- Policristalinos de lámina delgada
- Paneles para el espacio
- Sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre
- Teluro de cadmio
- Seleniuro de cobre e indio
- Arseniuro de galio o de concentración
- Bifaciales

En la figura 2.6 se puede apreciar la forma de operación de una celda fotovoltaica o celda solar. Para las celdas solares se crea una delgada rejilla semiconductor para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la luz solar en forma de fotones llega hasta la celda solar, los electrones son golpeados y sacados de los átomos del material semiconductor para que después sean capturados en forma de una corriente eléctrica [8].

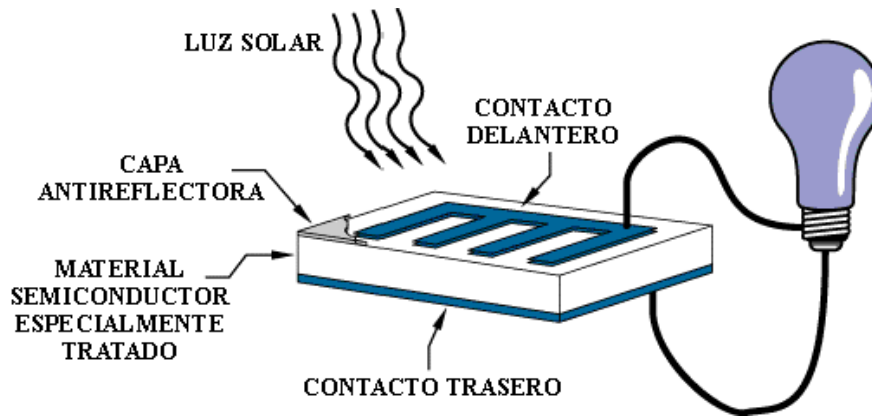


Figura 2.6 Diagrama del funcionamiento de una celda solar [8]

Como se ha mencionado antes, un arreglo de varias celdas solares conectadas se le conoce como módulo fotovoltaico. Los cuales están diseñados para proveer un cierto nivel de voltaje y la corriente producida depende directamente de cuánta luz llega hasta el módulo. Varios módulos pueden ser conectados unos con otros para formar un conjunto. Y entre más grande es el área de un módulo o conjunto, este generará más electricidad. Estos módulos y conjuntos producen corriente directa y la figura 2.7 nos muestra como son [8].

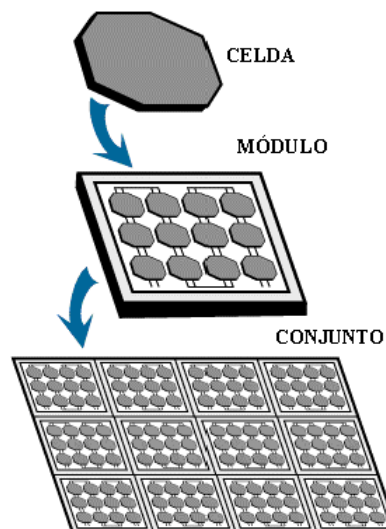


Figura 2.7 Esquema de una celda solar en un módulo y en un conjunto [8]

Actualmente, los dispositivos fotovoltaicos más usados tienen una sola juntura o interfase para crear un campo eléctrico dentro de un semiconductor, como la de una

celda. En este tipo de celdas de una sola juntura, solamente aquellos fotones cuya energía sea igual o mayor a la del espacio interbanda del material de la celda, pueden liberar un electrón para su uso. Es decir, que está limitada al espectro solar cuya energía esté por encima del espacio interbanda del material absorbente, por tanto aquellos fotones con energías más bajas no son utilizados [8].

La forma de evitar esta limitación es usando dos (o más) celdas diferentes, con más de un espacio de banda y más de una juntura, para generar un voltaje. Estas celdas son conocidas como celdas "multijuntura". Estos dispositivos son capaces de lograr una mayor eficiencia de conversión total. Un dispositivo multijuntura es un conjunto de celdas individuales de una sola juntura, colocadas en orden descendente de acuerdo a su espacio de banda. Con lo cual la celda más alta captura los fotones de alta energía y deja pasar el resto hacia abajo donde son absorbidos por celdas con espacios de bandas más bajos. Y como ejemplo de esto, el dispositivo multijuntura que se muestra en la figura 2.8, utiliza una celda superior de fosfato de indio con galio, una juntura "de túnel" para hacer más fácil el flujo de electrones entre las celdas, y una celda inferior de arseniuro de galio [8].

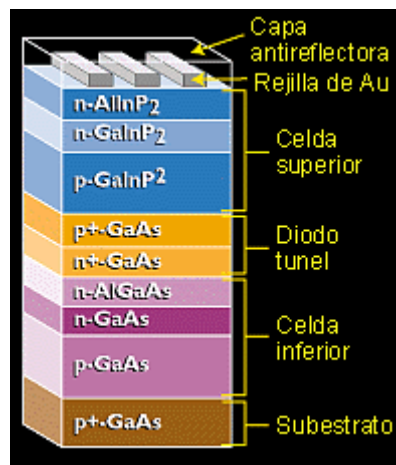


Figura 2.8 Dispositivo multijuntura [8]

Esta es la forma en como operan y son las celdas o módulos solares fotoeléctricos que día con día van progresando para proporcionar mas energía de una forma natural, renovable y sobre todo más económica.