

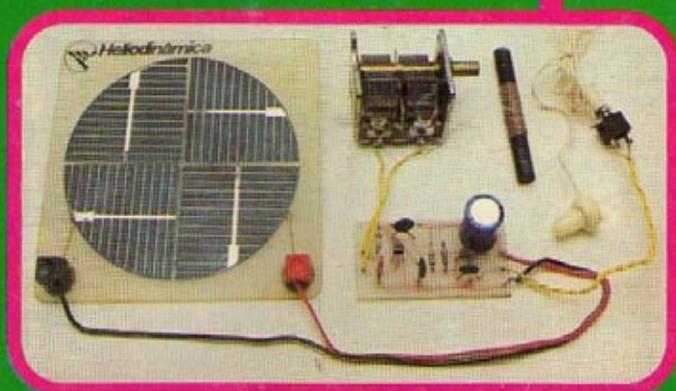
SABER

Nº 30 Año 3
A 2100 1989



ELECTRÓNICA

**CELULAS
SOLARES**



**BOOSTER
DE GRAVES**

**LABORATORIO DE
CIRCUITOS IMPRESOS**

**CONTROL DE VELOCIDAD
PARA MOTORES DE CC**

**MONTAJES
RADIO
SOLARES
ORGANO/
OSCILADOR
SOLAR
CARGADOR DE
PILAS DE NiCad
CONVERSOR PARA 3V
2 FUENTES DE
ALIMENTACION**

LAS CELDAS SOLARES

Celdas solares, pilas fotovoltaicas, pilas solares, fotoceldas, o cualquiera sea la denominación que les demos, sin dudas constituyen fuentes de energía que se deben considerar como soluciones alternativas para la crisis que actualmente sufre el mundo entero. Considerada como la fuente de energía del tercer milenio, la celda solar puede ser analizada como una importante opción para la alimentación de diversos tipos de dispositivos, como veremos en este artículo.

Por Newton C. Braga

En una época en que se siente de manera acentuada la falta de fuentes de energía que puedan mantener en funcionamiento todos los dispositivos eléctricos que desarrolla la tecnología moderna, y mientras el mismo costo de la energía disponible crece de manera atemorizante, la posibilidad de obtener energía abundante de la más potente de todas las fuentes conocidas, el Sol, debe ser analizada con el máximo interés.

¿Cómo se puede obtener energía eléctrica a partir de la luz (solar o de otra fuente)? ¿Cuál es el rendimiento de una celda solar? ¿De qué material están hechas? ¿Qué costo tiene tal forma de energía y cuándo se compensa la inversión? Son algunas de las preguntas que procuraremos responder en este artículo.

Un poco de historia

La influencia de la luz sobre las propiedades eléctricas de determinados materiales ya fue observada desde hace mucho tiempo, décadas antes de que se inventara cualquier dispositivo práctico. En 1839 Edmond Becquerel observó por primera vez que la conductividad de de-



FABRICACION DE CELDAS SOLARES PARA APLICACIONES ESPACIALES; las celdas de 2 X 6 cm² Y 2 X 4 cm² son cortadas por rayo laser

terminados materiales se modificaba con la incidencia de luz.

Más tarde, en 1873, Willoughby Smith observó el mismo efecto con el selenio. Relatos de la misma época registran que Heinrich Hertz había observado la emisión de electrones por electrodos metálicos cuando se los sometía a radiación ultravioleta (figura 1).

Sin embargo, el efecto en cuestión, denominado "efecto fotoeléctrico", durante mucho tiempo fue estudiado como una curiosidad científica solamente, hasta que un importante trabajo publicado por Albert Einstein lo describió de una manera más apropiada.

Lo que no se había comprendido hasta entonces era por qué en la liberación de las cargas eléctricas, a partir de la luz, lo que influía en la intensidad de la corriente obtenida no era la energía de la luz en sí, o sea, la frecuencia de la radiación, y sí la intensidad dada del flujo luminoso, ocurriendo siempre un instante en que el efecto se detenía en función de la longitud de onda.

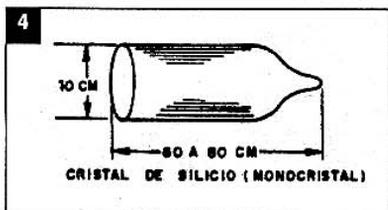
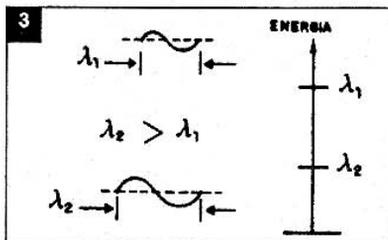
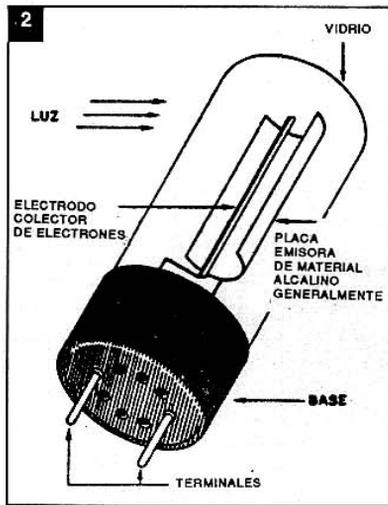
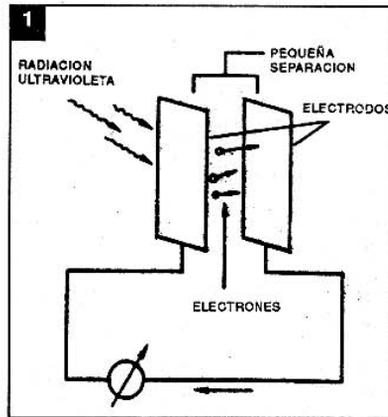
Einstein explicó el fenómeno de manera exacta, posibilitando así que posteriormente se pudiera construir dispositivos prácticos usando la energía generada a partir de la liberación de cargas por la luz y otros tipos de radiación (figura 2).

La explicación dada por Einstein fue la siguiente:

Para liberar los electrones de un material es preciso que incida energía en una cantidad mínima sobre el mismo. Esta energía mínima, sin embargo, no significa el total de energía que emite el mismo.

Del mismo modo que existe una unidad mínima de materia que es el átomo, también existe una unidad mínima de energía llamada "cuanta" (plural "quantum"). Así, la energía irradiada por una fuente de luz se hace en pequeños "paquetes" que contienen esta unidad mínima. Específicamente para el caso de la luz, estos paquetes o unidades mínimas se llaman "fotones".

La cantidad de energía que carga cada fotón depende de su longitud de onda.



da. Así, los fotones de mayor frecuencia o menor longitud de onda cargan más energía que los de menor frecuencia o

mayor longitud de onda (figura 3).

Como en un átomo de un material, para arrancar electrones y, por lo tanto "liberar electricidad", solo un fotón puede incidir cada vez (la probabilidad de que dos fotones coincidan en un átomo al mismo tiempo es muy pequeña), es muy importante que este fotón tenga energía suficiente para arrancarlo, o sea, debe tener una frecuencia mínima.

Esto significa que no es la cantidad de fotones que determina cuándo el efecto comienza a ocurrir y si la frecuencia mínima que los mismos posean, y por lo tanto, su energía. Ahora la cantidad de electrones liberados, sí, depende del flujo de luz o cantidad de fotones que incide en el material considerado.

Son diversos los materiales que manifiestan propiedades que permiten la construcción de celdas solares, o sea, dispositivos que pueden liberar cargas eléctricas por la acción de la luz y así generar electricidad.

A pesar de que las explicaciones sobre el verdadero funcionamiento de las celdas fueron dadas al principio del siglo por Einstein, fue recién en 1954 que se patentó la primera "batería solar". Los autores del invento fueron D. M. Chapin, C.S. Fuller y G.L. Pearson, todos del laboratorio de la compañía Bell en Murray Hill, EE.UU.

El tipo de celda inventada en esa época se parece bastante a la que usamos todavía hoy. Los perfeccionamientos posteriores apuntaron a mejorar su rendimiento y también a bajar su costo.

La celda solar de silicio

El silicio es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, pero como todos los que estudian electrónica saben, para que se lo pueda usar en la construcción de dispositivos electrónicos, es necesario que tenga un grado de pureza extremadamente elevado.

Cuando está próximo al grado máximo de pureza, el silicio es un metal oscuro con una capacidad relativamente pequeña de conducir la corriente eléctrica.

ca (resistividad de valor medio).

Para que podamos tener las propiedades eléctricas que permiten la construcción de dispositivos electrónicos debemos agregar impurezas al silicio en cantidades bien determinadas y de tipos especiales.

Partimos entonces de un cristal puro de silicio, en forma de tarugo, como muestra la figura 4.

Este tarugo es cortado por sierras de diamante en finas rebanadas que llegan al medio milímetro de espesor y que se denominan "wafers".

Las rebanadas son pulidas y luego llevadas a hornos donde se difunden las impurezas que van a darles las propiedades eléctricas que permiten la transformación de energía luminosa en electricidad. Como en el caso de los diodos y los transistores, podemos difundir impurezas cuyos átomos posean 3 ó 5 electrones en las últimas capas, y en estos casos obtendremos silicio semiconductor del tipo P ó del tipo N.

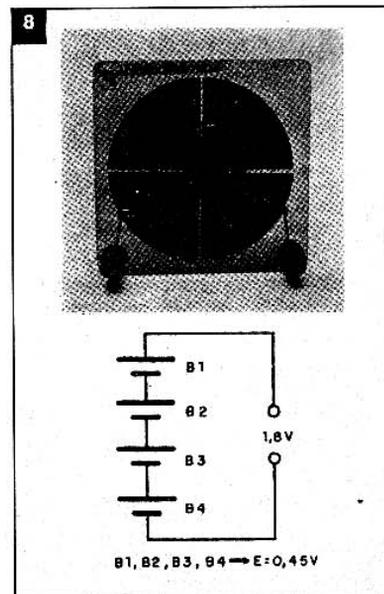
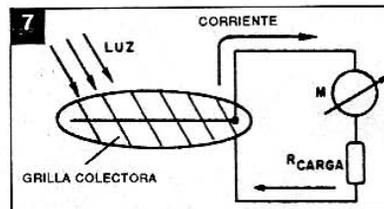
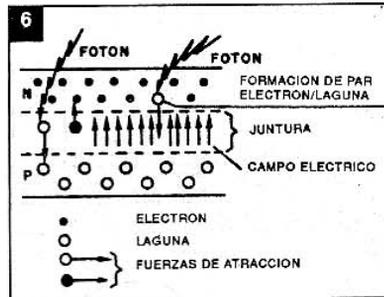
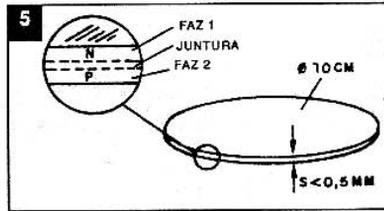
La difusión de impurezas con 3 electrones en la última capa, por ejemplo, hace que aparezcan más lagunas que electrones libres en la estructura, y en este caso los portadores mayoritarios de cargas pasarán a ser estas lagunas (P). En cambio las impurezas de 5 electrones hacen que los portadores mayoritarios de cargas sean los electrones libres, y en este caso tendremos un semiconductor de tipo N.

En el caso de las rebanadas con diámetros que llegan a aproximadamente 10 centímetros, se les difunden impurezas de tipo P en una faz, y del tipo N en la otra, lo que significa la formación de una juntura entre ellas (figura 5).

Cada rebanada es como un gran diodo semiconductor, por su estructura.

Cuando son expuestas a la luz, por sus dimensiones (gran superficie), estas rebanadas pueden captar gran cantidad de fotones que actúan sobre el material, arrancando electrones de los átomos de silicio.

Cuando un fotón consigue arrancar un electrón de un átomo, tenemos la formación de un par electrón-laguna



(figura 6).

Este par quedará sujeto a la acción del campo eléctrico intrínseco que existe en el interior del material en vista de la existencia de la juntura, lo que hace que

el electrón se desplace hacia la región de material N y la laguna hacia región de material P. Como consecuencia de esto aparece en las caras del material una diferencia de potencial eléctrico.

Si conectamos un circuito externo a las caras, usando para esta finalidad un sistema colector de electricidad, habrá circulación de una corriente eléctrica con una consiguiente transferencia de energía (figura 7).

La tensión obtenida en el proceso es más o menos constante, alrededor de 0,45 Volt, pero la corriente varía en función de la cantidad de pares electrón-lagunas formados, lo que depende del flujo luminoso y de la superficie de la rebanada de silicio.

Obtenemos de esta forma un dispositivo práctico que puede convertir energía radiante (luz) en energía eléctrica.

El rendimiento de tal dispositivo no es elevado, considerando que el Sol "derrama" sobre la Tierra más de 1 kW de energía por metro cuadrado. con una rebanada completa cortada en 4 segmentos, los que son conectados en serie (para sumar las tensiones), podemos construir una "pila solar experimental" que proporciona 1,8 Volt bajo corriente de 500 mA cuando es expuesta directamente a la luz del sol (figura 8).

Normalmente, se fabrican paneles que están compuestos de decenas de celdas, los cuales permiten la producción de varios Watt de energía para las más diversas aplicaciones.

En la figura 9 tenemos un gráfico que muestra el comportamiento eléctrico de una celda típica.

Las celdas que describimos son del tipo "monocristalino" de Czochralsky, proceso ampliamente usado hasta 1980, cuando comenzaron a aparecer las celdas de silicio multicristalino, con mayor rendimiento y que se podían fabricar en dimensiones mayores, o incluso cuadradas con hasta 10 centímetros y de lado. La diferencia de tamaño entre una rebanada redonda de 10 centímetros de diámetro y una cuadrada de 10 centímetros de lado es del orden de 20% (superficie), lo que logra un mejor apro-

vechamiento de la superficie de los paneles y menor costo.

Uso práctico

La inversión inicial para la instalación de celdas solares para proveer energía en cantidades medias es todavía elevado, pero como su durabilidad es prácticamente ilimitada, el tiempo se encarga de compensar la inversión.

Así, para lugares en que no se dispone de otras fuentes de energía (incluso a largo plazo) o bien que necesite energía por tiempo indeterminado, la celda solar es una solución digna de ser tenida en cuenta.

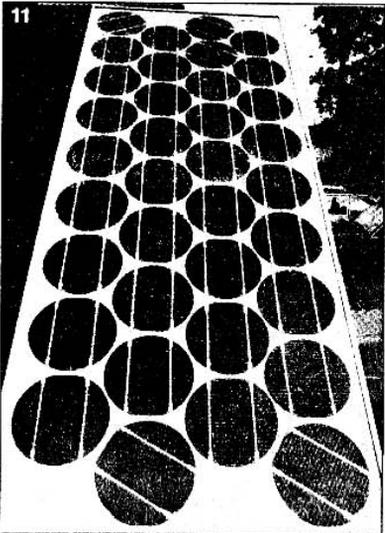
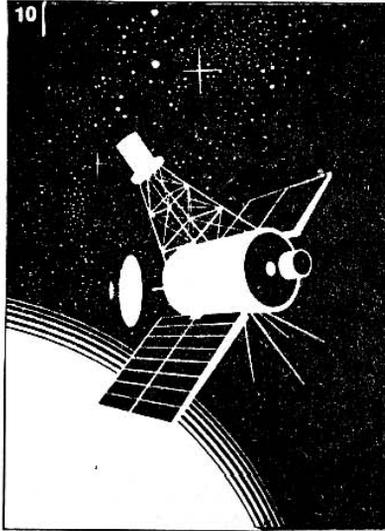
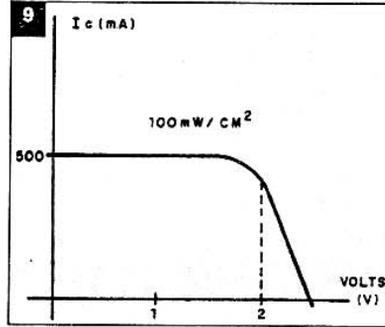
Teniendo en cuenta estos hechos, podemos encontrar muchas aplicaciones prácticas (ya en uso en nuestro país) para celdas y paneles de celdas de silicio.

El primer uso que destacamos, y que por supuesto no está al alcance del experimentador común, es la alimentación de los circuitos electrónicos y carga de batería de los satélites artificiales. En el espacio, no hay posibilidades de usar medios físicos de proporcionar energía, y, por otro lado, la energía solar está disponible en cantidad limitada. Paneles solares recubriendo la superficie del propio satélite pueden proporcionar energía para todos los equipos y cargar baterías para el funcionamiento cuando se produzca un eventual pasaje por la zona de sombra de la Tierra (figura 10).

Otra aplicación importante es la alimentación de boyas de señalización en alta mar, estaciones repetidoras de TV y microondas, señalización, telemetría, etc., ubicadas en puntos en que no se pueda hacer uso de la energía en la forma convencional.

Para el gran público, se venden paneles que encuentran aplicaciones importantes tanto de naturaleza doméstica como profesional. Destacamos algunas de ellas:

- **Bombeo de agua para irrigación** o abastecimiento en localidades que no disponen de electricidad convencional. Un panel de celdas solares puede ali-



mentar una pequeña bomba de agua que durante el día se encargará de transferir el líquido hacia lugares donde

falta o bien para llenar un tanque de reserva.

- **Carga de baterías de aeronaves** o barcos de recreo, en el primer caso para aeropuertos en estancias o lugares donde no llegue la red de energía eléctrica, o en el segundo para mantener cargadas las baterías hasta el momento de uso o bien para viajes largos.

- **Alimentación de electrodomésticos** en estancias o lugares donde no hay red de energía domiciliaria. Paneles de mediana potencia pueden cargar baterías que durante la noche alimenten lámparas de bajo consumo o pequeños electrodomésticos tales como radios y televisores de reducido tamaño.

- **Alimentación de transceptores** para regiones sin energía en sistemas de comunicaciones móviles. Transceptores de VHF y otras bandas de comunicaciones se pueden alimentar por paneles solares.

- **Provisión de energía eléctrica** para equipos de investigaciones en estaciones remotas: paneles solares pueden alimentar sensores, grabadores de datos, transmisores instalados en lugares de difícil acceso y donde no llega la energía local.

- **Alimentación de heladeras** en puestos de salud en lugares aislados: una heladera alimentada por energía solar puede ser instalada en puestos de salud en regiones desprovistas de energía de la red normal, manteniendo así, vacunas, medicamentos, etc. en temperaturas bajas necesarias para su conservación.

Por supuesto que además de todos estos usos (y otros que tal vez se le ocurran al lector) existen los recreativos y experimentales que involucran potencias pequeñas tales como la alimentación de calculadoras, relojes, radios, pequeños transmisores, cargadores de pilas, etc.

Considerando por la potencia

El costo de la energía obtenida de celdas solares de silicio todavía es muy elevada para que la misma se use como

solución para todos los problemas de alimentación de dispositivos eléctricos. Además, hay que considerar que la potencia no es lo bastante elevada para que se puedan alimentar dispositivos de alto consumo.

La energía solar es la solución para los casos en que no se disponga de otra

forma de energía y/o cuando no se pretende que todos los dispositivos de una casa o instalación sean alimentados a plena potencia durante todo el tiempo.

En condiciones normales de iluminación, un panel de 36 discos proporciona aproximadamente 15Watt, lo que es suficiente para alimentar un inversor de

lámpara fluorescente, un pequeño televisor o cargar una batería para uso nocturno.

Esta batería, mientras tanto, no podrá proveer la energía para toda la casa. Podrá alimentar uno o dos conjuntos de inversores o un pequeño televisor por aproximadamente 6 horas.

UN POCO MAS DE TEORIA

La energía de cualquier tipo de radiación electromagnética, incluso la de la luz, sólo puede existir en forma de porciones discretas, las que se denominan quanta o fotones. La energía de un fotón depende de su frecuencia

La energía de un fotón es dada entonces por la expresión:

$$\epsilon = h \cdot v$$

Donde: h es la constante de Planck que equivale a $6,623 \times 10^{-27}$ ergin.

De acuerdo con la teoría de la relatividad, si la energía de un sistema varía en una cierta cantidad E, existe una variación equivalente de masa en el mismo sistema equivalente a E/c^2 , donde c es la velocidad de la luz. Esto significa que, para cada fotón emitido por un cuerpo, su masa decrece en una cantidad de

$$\Delta m = \frac{h\nu}{c^2}$$

Estas propiedades se deben a la na-

turalaleza corpuscular o discreta de la radiación y se denominan propiedades cuánticas.

La luz, como otras formas de energía electromagnética, posee propiedades tanto ondulatorias como corpusculares.

El efecto fotoeléctrico es una manifestación de la naturaleza corpuscular de la luz. Así, la emisión de electrones por un cuerpo iluminado se denomina efecto fotoeléctrico externo y obedece a las siguientes leyes fundamentales:

a) La velocidad máxima de los electrones liberados es independiente de la intensidad de la luz y determinada apenas por la frecuencia de la luz incidente.

La ecuación a seguir permite relacionar los diversos parámetros involucrados en el proceso:

$$h\nu = \phi + \frac{mv^2}{2}$$

Donde: hU es la energía de un fotón
p es la función-trabajo
m es la masa del electrón

v es su velocidad

Esta ecuación se denomina "Ecuación de Einstein"

b) Para cada sustancia existe una frecuencia por debajo de la cual no se puede observar el efecto fotoeléctrico. Esta frecuencia se denomina "umbral fotoeléctrico" o "límite rojo" (U_{cr}) y está determinada por la expresión:

$$h \nu_{cr} = \phi$$

Cuando se iluminan semiconductores dieléctricos, algunos de sus átomos pueden perder electrones lo que, en contraposición al efecto fotoeléctrico externo, no escapan de la superficie del material, sino que permanecen en el interior del cuerpo.

Este efecto se denomina "efecto fotoeléctrico intrínseco o interno". En consecuencia, la resistencia de materiales puede ser reducida y si el material fuera semiconductor, con una barrera de potencial, puede dar origen a la aparición de una corriente eléctrica en un circuito externo.

Ya está en su kiosco

- ✓ OSCILADORES
- ✓ ALARMAS
- ✓ INSTRUMENTACION
- ✓ FOTOELECTRONICA
- ✓ AMPLIFICADORES
- ✓ RECEPTORES
- ✓ FILTROS

SABER ELECTRONICA

FUERA DE SERIE

- ✓ ECUALIZADORES
- ✓ SENSORES
- ✓ COMUNICACIONES
- ✓ TEMPORIZADORES
- ✓ CONTROLES DE VELOCIDAD
- ✓ FUENTES DE VELOCIDAD
- ✓ FUENTES DE ALIMENTACION
- ✓ ELECTRONICA DEL AUTOMOVIL

INCLUYE TECNICAS PARA NUEVOS DESARROLLOS

PROYECTOS Y MONTAJES DE ACTUALIDAD PARA TODOS LOS NIVELES