



1 Variación de la resistencia de una célula fotorresistiva (LDR) con la iluminación (Práctica de Física para 3^o o COU)

Por Alejandro LANSAC LABARTA (*)

I. PLANTEAMIENTO PARA EL PROFESOR

La práctica que vamos a comentar la vienen realizando nuestros alumnos de COU desde hace tres años con resultados satisfactorios que cumplen, a nuestro juicio, los objetivos propuestos. El tiempo precisado para que los alumnos la monten y tomen los datos necesarios es de unos 50 minutos, por lo que tiene una duración muy adecua-

da para que la desarrollen durante la hora que dura una clase de prácticas.

Esencialmente, la experiencia que proponemos consiste en iluminar una fotorresistencia con una bombilla situada a diversas distancias de la misma, midiendo en cada caso la distancia bombilla-resistencia y de modo indirecto la resistencia eléctrica de la célula LDR. Finalmente, se comparan las distancias (que son medidas indi-

rectas de la iluminación de la superficie de la célula) con los correspondientes valores de la resistencia. La comparación se efectúa gráficamente.

El objetivo didáctico de la práctica es enfrentar al alumno con un fenómeno nuevo para él y que le permite llegar a conclusiones fundamentalmente

(*) Catedrático de Física y Química del Instituto Nacional de Bachillerato «Luis de Pequera», de Manresa.

experimentales utilizando técnicas que, aunque sean muy rudimentarias, le pueden dar idea del método científico.

Por otra parte, las células LDR se emplean profusamente en los sistemas electrónicos para la determinación de iluminaciones, por lo que estos componentes son baratos y pueden encontrarse en cualquier establecimiento que venda material electrónico.

Una célula LDR es un fragmento de semiconductor provisto de dos contactos eléctricos. El fundamento de su conductividad es el siguiente: como se sabe, en los sólidos el conjunto de orbitales de los átomos que los integran se interfieren formando orbitales moleculares. Todos los orbitales que proceden de un mismo subnivel tienen energías muy próximas y al conjunto de todos ellos se le da el nombre de banda. Como en un sólido hay gran cantidad de átomos en cada una de sus bandas, habrá también gran cantidad de orbitales y, aunque cada uno de ellos tiene energía distinta de los demás, la diferencia energética entre un orbital y el que presenta energía inmediata a él es inapreciable. En el aspecto de energías, entre dos bandas consecutivas hay un entorno de energías en que no hay ningún orbital. A este entorno se le denomina zona prohibida. Para los fenómenos que vamos a ver, que son fenómenos de conductividad, solamente interesa la banda que proviene de los orbitales de valencia y la que tiene energía inmediata superior. La primera se llama banda de valencia, y la siguiente, banda de conducción (ver fig. 1).

Los conductores no presentan límites de continuidad entre estas dos bandas y, no habiendo zona prohibida, los electrones pueden pasar libremente de la banda de valencia a la de conducción circulando por ella. En los aisladores la zona prohibida es muy grande y normalmente los electrones pueden vencer la diferencia de energía que hay entre la banda de valencia donde se encuentran y la de conducción donde po-

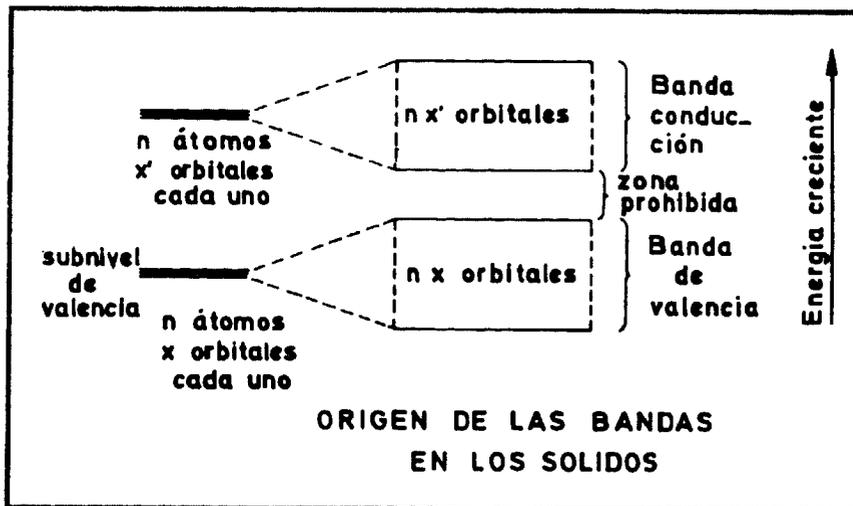


FIG. 1.

drian circular con libertad. La resistencia eléctrica que presentan es muy elevada (1).

Los semiconductores presentan una zona prohibida entre la banda de valencia y la de conducción del orden de un electrón-voltio. Cuando sobre estos materiales incide radiación cuyos fotones tienen energía inferior a la de la zona prohibida, los electrones no pueden pasar de la banda de valencia a la de conducción; por lo tanto, la conductividad fotoeléctrica es nula en estas condiciones. Si aumentamos la frecuencia de la radiación incidente, aumenta la energía de los fotones que la forman y cuando ésta es superior a la de la zona prohibida, la transferencia de energía de los fotones a los electrones origina el salto de éstos a la banda de conducción donde pueden circular con libertad. Cada electrón que salta deja su orbital semiocupado y genera lo que llamamos un «hueco» en la banda de valencia.

Así se produce una conductividad por electrones en la banda de conducción y conductivi-

minando la resistencia óhmica entre los contactos con un polímetro de válvula (en realidad de FET) me resultó una resistencia mayor de 500 megaohmios (límite del aparato). Calenté después el vidrio que había entre los electrodos con el mechero y vi, con sorpresa por mi parte, cómo la resistencia disminuía adquiriendo valores de 10 megaohmios antes de que la varilla de vidrio se llegase a poner al rojo. Por supuesto tomé las lecturas de resistencia con el vidrio fuera de la llama, ya que ésta es conductora por la presencia de iones en ella. Aumentando la temperatura hasta llegar al reblandecimiento conseguí que la resistencia bajase hasta valores del orden de la decena de kiloohmios cuando el vidrio empezaba a reblandecerse. De todas formas, esta última fase es muy discutible porque en estado pastoso intervienen fenómenos que enmascaran seriamente la misma esencia de la determinación.

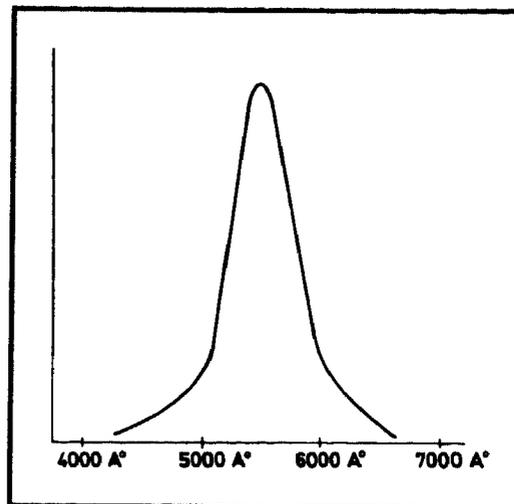


FIG. 2. Conductividad manteniendo la misma energía de iluminación total y variando la longitud de onda que incide en la célula LDR

(1) A pesar de lo indicado sobre los aisladores puede provocarse la conductividad por un método sencillo y, creo que didáctico. Yo lo hice de la siguiente forma: tomé una varilla de vidrio y la reblandecí mediante un mechero Bunsen, le inserté dos contactos de platino a unos cuatro o cinco milímetros uno del otro y dejé que se enfriase. Deter-

dad por huecos en la banda de valencia.

Los semiconductores de que disponemos absorben intensamente a los fotones de energía algo mayor que la de la zona prohibida, por lo que estas radiaciones apenas pueden penetrar por las capas superficiales y la conductividad queda muy reducida porque la mayor parte del semiconductor queda inactivo. En la figura 2 puede verse de forma aproximada la relación entre la longitud de onda de la radiación incidente y la conductividad que ésta provoca en una célula LDR de sulfuro de cadmio, suponiendo que la energía total luminosa permanezca constante. Los fotones de más de 7.000 Å no producen fotoconductividad por falta de energía, y los de menos de 4.000 Å son demasiado absorbidos por la superficie (opaca a estas longitudes de onda) para poder penetrar en el interior del semiconductor. La máxima respuesta relativa se obtiene con radiación verde.

II. ELECCION DEL COMPONENTE ACTIVO DE LA PRACTICA

Considerados los objetivos didácticos de la práctica a desarrollar se nos presentaron varias opciones de las que detallamos algunas:

— **CELULA FOTOELECTRICA TRADICIONAL:** es poco robusta para que la utilicen los alumnos que tienen poca experiencia y la tendencia industrial a utilizarla decrece. Estas razones nos indujeron a no considerarla a fondo.

— **FOTOTRANSTISTORES:** su rendimiento corriente/iluminación es más espectacular, pero debe cuidarse la polaridad a que están conectados en el circuito; de hecho complican innecesariamente los fenómenos que se trata de estudiar.

— **CELULAS SOLARES:** son componentes realmente interesantes y atractivos si tenemos en cuenta que se están utilizando para conseguir ener-

gía eléctrica a partir de energía solar en casos en los que no es posible otro procedimiento de obtención de energía; tal ocurre en los satélites artificiales, por ejemplo. La razón por la que no se utilizan profusamente aún estos componentes es únicamente su precio, que se va abaratando por el empleo de materiales amorfos. Es posible que dentro de pocos años (10 ó 20) puedan competir económicamente con otros procedimientos de obtención de energía.

Todas estas razones justifican sobradamente nuestro interés por lograr que nuestros alumnos se familiaricen con ellas, pero aunque hace tiempo que intento experimentar con células solares, por ahora no las he encontrado en el comercio como componentes sueltos. Hace unos días vi anunciadas células solares en Sonimag-15, pero aún no he logrado entrar en contacto con la casa comercial que las fabrica. Cuando logre experimentar con ellas daré cuenta de los resultados que creo deben ser interesantes.

— **CELULAS FOTORRESISTIVAS (LDR):** su precio es muy asequible (90 ptas) y resultan suficientemente robustas para ser manejadas por los alumnos. Las diferencias de potencial que se utilizan (4,5 V) y las corrientes que circulan son totalmente inofensivas. Las más frecuentes en el mercado son las de sulfuro de cadmio, que pueden encontrarse en cualquier establecimiento que venda material electrónico o material de radio y televisión, donde las conocen bajo cualquier nombre de los utilizados en este escrito, especialmente como células LDR o fotorresistencias, a veces como células fotoeléctricas, aunque este nombre genérico no sea demasiado adecuado.

Normalmente trabajan con intensidades del orden de unos 10 miliamperios, aunque durante lapsos de tiempo pequeños pueden soportar intensidades mayores. A modo de orientación podemos indicar que la primera célula LDR que empleamos en

las prácticas duró más de dos años manejada por los alumnos y soportando en ocasiones corrientes de más de 50 mA.

El montaje correcto de una fotorresistencia queda especificado en la figura 3. En este esquema, R se calcula para que la corriente que circula por la célula sea como máximo de 10 mA. La diferencia de potencial V será una medida indirecta de la intensidad que circula por

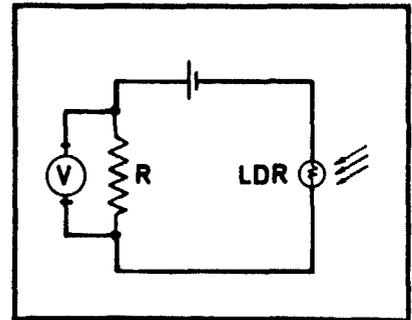


FIG. 3

el circuito, y en consecuencia, de la resistencia de la célula LDR.

Aunque sea menos correcto, en la práctica utilizamos un esquema mucho más sencillo para fijar la atención del alumno únicamente en el fenómeno que se trata de estudiar. Conectamos en serie una pila de petaca, el polímetro de ENOSA en la escala de 30 mA (aunque resultaría más simple un miliamperímetro menos aparatoso), un interruptor y la célula LDR. El esquema corresponde a la figura 4. La diferencia de potencial de alimentación se toma como 4,5 voltios, y aunque varíe con la intensidad y el grado de agotamiento de la pila, como las intensidades que circulan son pequeñas, los resultados que obtienen los alumnos son satisfactorios para el fin que se persigue.

Para relacionar la resistencia de la célula y la intensidad luminosa que recibe su superficie colocamos una bombilla en el soporte de bombilla del equipo Torres Quevedo que se sujeta mediante una doble nuez a un soporte de varilla. De esa forma se puede variar la distancia

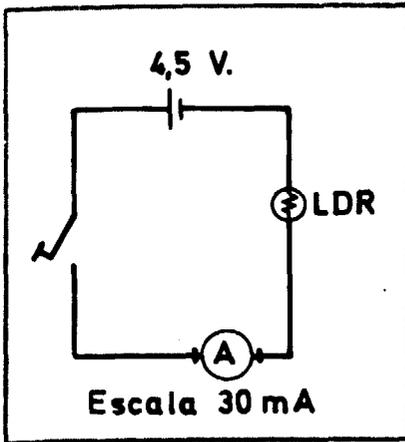


FIG. 4

que hay entre la bombilla (de 60W) y la célula LDR.

La iluminación de la superficie del semiconductor será inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el filamento y la célula LDR. Por supuesto, la iluminación ambiente puede afectar los resultados que se obtengan, pero si se escoge una zona del laboratorio que no esté intensamente iluminada los errores no son muy grandes. Nosotros tenemos la práctica dispuesta a 2 m. de la ventana más próxima, y si bajamos la persiana, la lectura del aparato de medida antes de ser iluminado con la bombilla es del orden de 2 mA.

Como la fotorresistencia es un componente de pequeño tamaño, la hemos colocado en

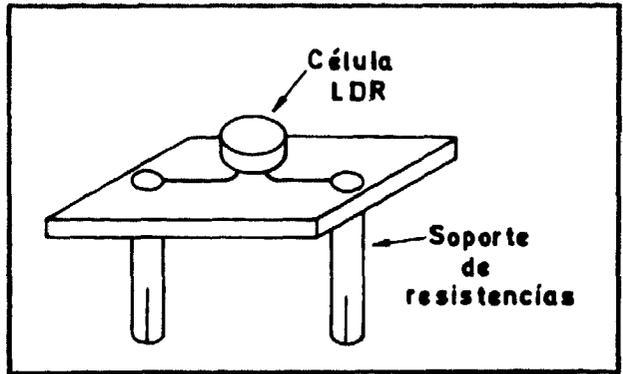


FIG. 5

lugar de una resistencia de carbón de los equipos de ENOSA de electricidad para Bachillerato superior. Como se recordará, en este equipo hay algunos componentes (resistencias y condensadores) que están colocados en una especie de enchufes que permiten conectarlos al panel de montajes. De uno de estos «enchufes» quitamos la resistencia y en su lugar atornillamos los terminales de la célula LDR (figura 5). Esta disposición nos permite colocar la célula en el panel de montaje del citado equipo, y en este mismo panel conectar también el interruptor dando solidez a todo el conjunto y asegurando que la fotorresistencia no cambie de posición en el transcurso de la práctica. Por otra parte, en el panel de montajes empleamos los cables de conexión del equipo citado y con pinzas de cocodrilo conectamos la pila de 4,5 voltios a los citados cables. Así empleamos solamente material de los equipos de electricidad. Para que el lector pueda juzgar el entorno de valores que adquiere la célula LDR en estas circunstancias transcribo un conjunto de datos, con la advertencia de que han sido obtenidos de forma rápida en una sola lectura y, por tanto, se ven afectados por errores importantes. La célula empleada ha sido de sulfuro de cadmio y la bombilla de 60W. Las distancias tomadas con una cinta métrica desde el filamento a la célula y, en este caso, la resistencia medida directamente con un ohmímetro.

| Distancias (cm.) | Resistencias (Ohmios) |
|------------------|-----------------------|
| 67,5 | 780 |
| 65 | 740 |
| 62,5 | 700 |
| 60 | 670 |
| 55 | 610 |
| 50 | 540 |
| 45 | 480 |
| 40 | 430 |
| 35 | 370 |
| 30 | 320 |
| 25 | 270 |
| 20 | 220 |
| 15 | 170 |

Los alumnos pueden representar gráficamente la resistencia en función de la distancia; la resistencia en función de la iluminación relativa de la superficie de la célula o la intensidad en función de la iluminación relativa de la superficie, manteniendo constante la diferencia de potencial de alimentación. En cualquier caso es fundamental que lleguen a conclusiones aunque sean sumamente simples. A nuestros alumnos antes de que vayan al laboratorio les damos información de las prácticas que van a realizar. Transcribo a continuación la que sobre la práctica que nos ocupa hemos proporcionado a alumnos de 3.º de Bachillerato.

III. PLANTEAMIENTO PARA LOS ALUMNOS

Material

Bombilla 60 W 220V (o tensión que corresponda).
Portalámparas con varilla.

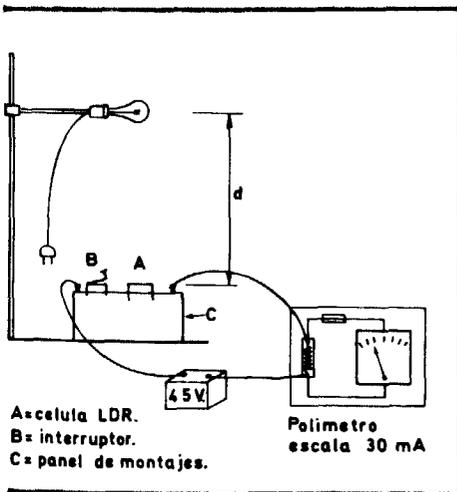


FIG. 6

Los resultados son los siguientes:

Soporte.
 Doble nuez.
 2 pinzas de cocodrilo.
 Panel de montajes.
 Interruptor.
 3 cables de conexión.
 Regleta shunt para 30 mA.
 Polímetro.
 Célula fotorresistiva de sulfuro de cadmio.
 Pila de petaca de 4,5 voltios.
 Cinta métrica.

Objetivo

Comprobar experimentalmente la existencia de materiales cuya conductividad se ve afectada por la influencia de la energía luminosa, estudiar esta influencia variando la iluminación de dicho material y determinando la resistencia del mismo. Representar gráficamente las dependencias que se hallen experimentalmente y dar sentido físico a los resultados que se obtengan.

Fundamento teórico

La célula fotorresistiva es un semiconductor. Los semiconductores se caracterizan porque los enlaces que mantienen unidos sus átomos pueden romperse con cierta facilidad, y cuando esto ocurre los electrones pasan a formar parte de una nube electrónica similar a la que provoca la conductividad en los metales. Si los átomos enlazados han perdido electrones que pasan a moverse en la masa del semiconductor, los mencionados átomos quedarán con cargas positivas que se llaman huecos. Como se ha dicho en el objetivo, el resto de la interpretación corre a cargo del alumno a la vista de los resultados experimentales.

Hay que añadir que la iluminación que tenga la superficie dependerá de la distancia entre la bombilla y la superficie de la célula fotorresistiva (LDR). Evidentemente cuanto más cerca esté la bombilla de la célula más iluminación habrá. El alumno debe deducir la relación entre la cantidad de fotones que caen sobre la célula y la distancia.

Aviso

ANTES DE CONECTAR ALGUN APARATO A LA RED DEBE SOLICITARSE EL VISTO BUENO DEL PROFESOR. EL CIRCUITO DE LA CELULA LDR NO PUEDE CONECTARSE A LA RED, PUES SE

ESTROPEARIAN TODOS LOS COMPONENTES. LA ALIMENTACION DE ESE CIRCUITO ES A 4,5 VOLTIOS.

Método

Debe prepararse el polímetro como amperímetro para 3L mA colocando el shunt correspondiente y la regleta de contacto.

En el panel de montajes se sitúan la célula LDR y el interruptor. Se emplean los cables de conexión para que queden en serie todos los componentes y aparatos que forman el circuito; o sea, la pila, el interruptor, la célula LDR y el amperímetro. El esquema corresponde a la figura 4.

Se sitúa la bombilla en el portálamparas y éste en el soporte, lo más alto posible; el panel de montajes se coloca debajo de la bombilla de forma que la célula LDR caiga en la vertical de la bombilla (así la célula está «mirando» hacia la bombilla y la iluminación será máxima).

Se prueba el circuito de la célula LDR sin conectar la bombilla, pulsando el interruptor durante unos momentos y mirando el aparato de medida. Si éste marca más de 5 mA, o está estropeada la célula

la LDR o el lugar del laboratorio en que está situada la práctica se encuentra excesivamente iluminado. Se toma la distancia entre el filamento de la bombilla y la superficie de la célula, con la cinta métrica, procurando minimizar el error de paralaje; se conecta la bombilla a la red de c.a., se oprime el interruptor del circuito de la célula LDR y se lee el aparato de medida. Este circuito no debe conectarse más tiempo del necesario para hacer la lectura correctamente. Para hallar la resistencia se aplica la ley de Ohm, teniendo en cuenta que la diferencia de potencial entre los bornes de la pila puede tomarse como 4,5 voltios.

Se repiten las medias tomando nota de todas ellas, con unas 20 distancias diferentes entre la bombilla y la célula, cuidando que en ninguna de las lecturas se rebase el límite de medida del amperímetro; los resultados representan gráficamente colocando en abscisas las distancias y en ordenadas las resistencias.

El alumno, a la vista de los resultados obtenidos, debe formular las hipótesis que le parezcan adecuadas sobre los fenómenos observados. Las gráficas, los datos y los razonamientos deben figurar en la libreta de Laboratorio.

A modo de orientación para el profesor transcribo datos obtenidos por mis alumnos con

una célula LDR distinta de la empleada en la otra tabla que hay en esta comunicación.

| Distancia cm. | Intensidad mA | R (calculada) Ohmios | R (redondeada) Ohmios |
|---------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| 50,4 | 3,1 | 1.451,6 | 1.450 |
| 48,4 | 3,4 | 1.323,5 | 1.300 |
| 46,4 | 3,7 | 1.216,2 | 1.200 |
| 44,4 | 4,0 | 1.125 | 1.100 |
| 42,4 | 4,3 | 1.046,5 | 1.050 |
| 40,4 | 4,6 | 978,3 | 980 |
| 38,4 | 5,1 | 882,4 | 880 |
| 36,4 | 5,5 | 818,2 | 820 |
| 34,4 | 6,0 | 750,0 | 750 |
| 32,4 | 6,6 | 681,8 | 680 |
| 30,4 | 7,2 | 625,0 | 625 |
| 28,4 | 8,2 | 548,8 | 550 |
| 26,4 | 9,2 | 489,1 | 490 |
| 24,4 | 10,5 | 428,6 | 430 |
| 22,4 | 12,0 | 375,0 | 375 |
| 20,4 | 14,0 | 321,4 | 320 |

Los datos de intensidades aquí recogidos son promedios de cinco determinaciones con

datos no discordantes y se obtuvieron fuera de la hora de prácticas.