

CAPÍTULO

11 OPTOELECTRÓNICA**11. OPTOELECTRÓNICA**

El interés por los dispositivos sensibles a la luz ha aumentado casi a un ritmo exponencial en los últimos años. El campo resultante de la optoelectrónica cobrará un gran impulso en la investigación a medida que se realicen esfuerzos para mejorar la eficiencia.

En la actualidad los dispositivos sensibles a la luz se clasifican en elementos:

- DISPOSITIVOS DETECTORES DE LUZ (responden a la luz).
- DISPOSITIVOS EMISORES DE LUZ (emiten o modifica luz coherente o no coherente).
- OPTOACOPLOADORES (utilizan luz para su operación interna).

11.1. INTRODUCCION.

Las fuentes luminosas ofrecen una fuente de energía única, que se transmite en paquetes pequeños discretos denominados fotones, los cuales tienen un nivel energético que se relaciona directamente con la frecuencia de la onda luminosa viajera, de acuerdo con la siguiente relación:

$$W = h \cdot f \quad \text{[Joules]} \quad \text{(Ecuación 11.1)}$$

Donde "h" es la constante de Planck, y es igual a: $h = 6.624 \times 10^{-34}$ [Joule-segundo].

La ecuación 11.1, establece una relación directa de la energía asociada a las ondas luminosas incidentes con la frecuencia, en donde:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$W = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \text{(Ecuación 11.2)}$$

λ = longitud de onda [m]

c = velocidad de la luz = 3×10^8 [m/s]

f = frecuencia de la onda viajera [Hz]

La longitud de onda usualmente se mide en unidades ángstrom (Å) en donde:

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} \quad \text{ó} \quad 1 \text{ μm} = 10^{-6} \text{ m}$$

La longitud de onda es importante porque determinará el material a utilizarse en el dispositivo optoelectrónico. Se utilizan tres tipos de materiales que son: Silicio (Si).

Germanio (Ge) y Selenio (Se), cuyo espectro es el siguiente:

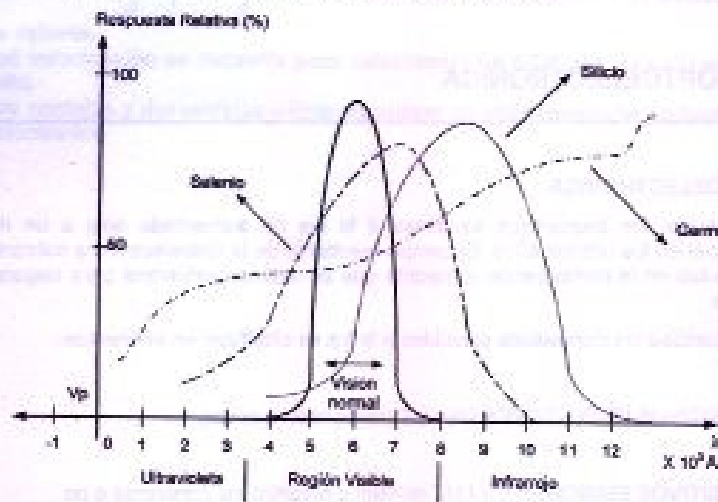


Figura 11.1. Respuesta Espectral Relativa para el Si, Ge y Se comparada con el ojo humano.

El número de electrones libres que se genera en cada material es proporcional a la intensidad de la luz incidente.

11.1.1. EL FLUJO LUMINOSO. "φ".

Es aquella fracción de la potencia radiante total emitida por una fuente luminosa, que se encuentra dentro de la región de luz visible.

Se lo mide en: [lm] o en [W], donde:

$$1 \text{ [lm]} = 1 \text{ lumen} = 1.486 \times 10^{-19} \text{ [W]}$$

11.1.2. LA INTENSIDAD LUMINOSA. "H".

Es la medida de la cantidad de flujo luminoso que cubre un área superficial. Se la mide en: [lm / pie²], en pie-candela, (foot-candles) [f-c] o en [W / m²], donde:

$$1 \text{ [lm / pie}^2\text{]} = 1 \text{ [f-c]} = 1.609 \times 10^{-8} \text{ [W / m}^2\text{]}$$

11.2. DISPOSITIVOS DETECTORES DE LUZ.

Son elementos que experimentan un cambio eléctrico reversible cuando son expuestos a la luz de una apropiada longitud de onda. Los dispositivos detectores de luz son:

- Los Fotodiodos.
- Celdas Fotoconductoras.
- Fototransistores.
- SCR activados por luz.

11.2.1. EL FOTODIODO.

El fotodiodo es un dispositivo semiconductor de unión P-N, cuya región de operación está limitada a la región de polarización inversa.

El arreglo de la polarización básica, la construcción y el símbolo se presentan en la figura 11.2 a continuación:

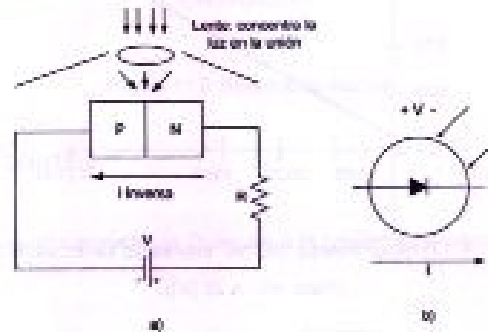


Figura 11.2. a) Polarización del fotodiodo. b) Símbolo del fotodiodo.

Recuérdese que en un diodo la corriente de saturación inversa está normalmente limitada a unos cuantos microamperios. Ello se debe sólo a los portadores minoritarios generados en forma térmica en los materiales tipo N y P.

La aplicación de la luz en la unión o juntura, dará como resultado una TRANSFERENCIA DE ENERGIA (en la forma de fotones) de las ondas luminosas incidentes a la estructura, lo que origina un número incrementado de portadores minoritarios y un mayor nivel de corriente inversa. Esto se indica claramente en la figura 11.3, para diferentes valores de intensidad luminosa (H en pie-candela [f-c]).

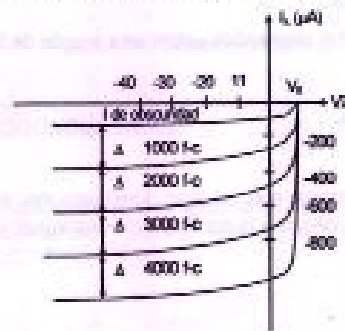


Figura 11.3. Características del Fotodiodo.

LA CORRIENTE DE OSCURIDAD: Es la corriente que ocurre sin iluminación aplicada.

Como se puede ver en la figura 11.3, la corriente solo retorna a cero con un voltaje de polarización aplicado igual a V_0 positivo.

En la característica del fotodiodo, el espaciamiento casi igual en las curvas para el mismo incremento de flujo luminoso, revela que la corriente inversa y el flujo luminoso se relacionan en forma muy cercana a la lineal, como se puede ver en la figura 11.4 a continuación.

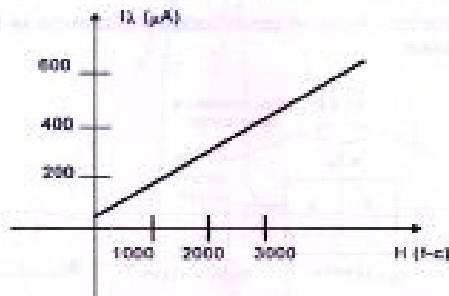


Figura 11.4. Corriente inversa (I_λ) vs. Intensidad luminosa (H en f-c)

(Para $V_\lambda = 20$ [V]).

Como se puede ver en la figura 11.1, el Germanio (Ge) abarca un espectro de longitudes de onda más amplio que el Silicio (Si), esta propiedad lo haría óptimo para luz incidente en la región infrarroja, como la que proporcionan el láser y las fuentes luminosas IR (INFRARROJAS). La corriente de oscuridad del Germanio es mayor que la del Silicio, pero también el nivel de corriente inversa del Germanio es más alto.

11.2.1.1. APLICACIONES.

El **fotodiodo** puede emplearse para:

- a) Sistema de Alarma.
- b) Sistema para contar elementos sobre una banda de transporte.

a) SISTEMA DE ALARMA.

La corriente I_λ fluye en tanto que el haz luminoso no sea interrumpido. Si es interrumpido, la corriente I_λ decae a la corriente de oscuridad y suena la alarma.

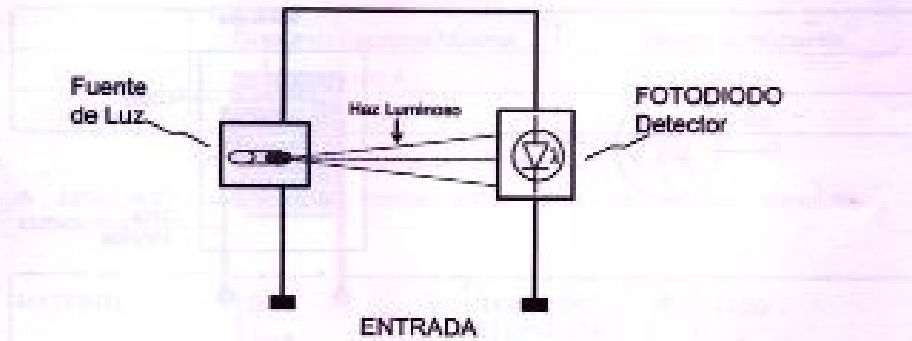


Figura 11.5. Sistema de Alarma.

b). SISTEMA DE CONTEO.

A medida que pasa un elemento, la I_d decae a la corriente de oscuridad y el contador es incrementado en uno.

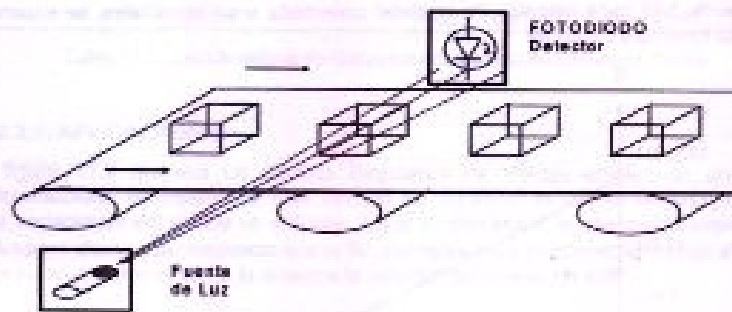
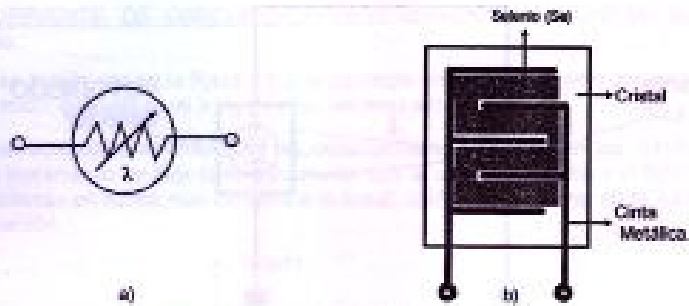


Figura 11.6. Sistema de Conteo.

11.2.2. CELDAS FOTOCONDUCTIVAS.

Son dispositivos semiconductores de dos terminales, cuya resistencia terminal variará (linealmente) con la intensidad de la luz. Por razones obvias a menudo se le denomina **DISPOSITIVO FOTORESISTIVO**.



$R \sim L^\alpha$ $\alpha =$ coeficiente negativo

Figura 11.7. a) Símbolo. b) Estructura.

La figura 11.7 b), nos muestra la estructura de la Celda Fotoconductiva, la cual está hecha en base a un cristal en el cual se ha puesto un material conductor (cinta metálica), y se le ha relleno de material semiconductor (Selenio (Se)). También se indica la relación de proporcionalidad entre la resistencia (R) y la longitud de la cinta metálica (L) elevado al exponente (α), donde α es el coeficiente negativo, que depende de la Intensidad Luminosa (H).

NOTA: La Celda Fotoconductiva no tiene una unión como la del fotodiodo. Simplemente una capa delgada del material conectada entre terminales, se expone a la energía luminosa incidente.

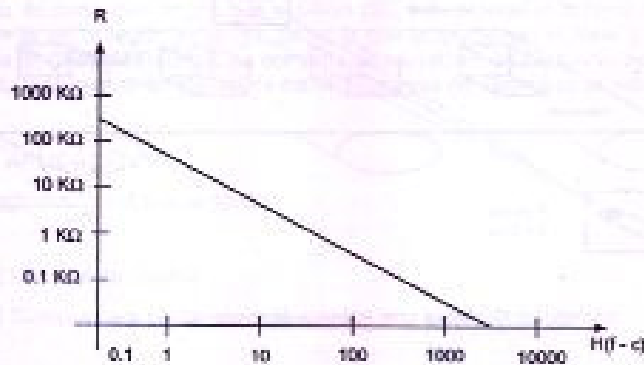


FIGURA 11.8. Características terminales. Resistencia vs Intensidad Luminosa

Entre los materiales fotoconductivos que se utilizan más a menudo se encuentran el Sulfuro de Cadmio (CdS) y el Seleniuro de Cadmio (CdSe). Para los cuales se tienen las siguientes características:

	Respuesta Espectral Máxima	Tiempo de respuesta
Cd	5100 Å	100 ms
CdSe	6150 Å	10 ms

Tabla 11.1. Características de materiales fotoconductorivos

A continuación se muestran ciertos datos útiles de algunos materiales semiconductores:

MATERIAL	EG [eV]	RANGO DE RESPUESTA UTIL [nm]	λPICO [nm]
CdS	2.45	420 - 800	515 - 550
CdSe	1.74	680 - 750	675 - 735
PbS	0.4	500 - 3000	2000
PbTe	0.34	600 - 4500	2200
PbSe	0.25	700 - 5800	4000
Si	1.12	450 - 1100	850
Ge	0.68	550 - 1800	1540

Tabla 11.2. Características de Respuesta de materiales semiconductores.

11.2.2.1. APLICACIONES.

La figura 11.9 muestra un Circuito Regulador de Voltaje empleando una celda fotoconductoriva. El objetivo de este circuito es mantener el voltaje V_o a un nivel fijo ante variaciones del voltaje de entrada. Así si V_i disminuye, la intensidad luminosa de la lámpara disminuye, haciendo que la R_L aumente para mantener el voltaje de salida V_o a su nivel nominal como lo muestra la relación del divisor de voltaje:

$$V_o = V_i \frac{R_L}{R_1 + R_L} \quad \text{(Ecuación 11.3)}$$

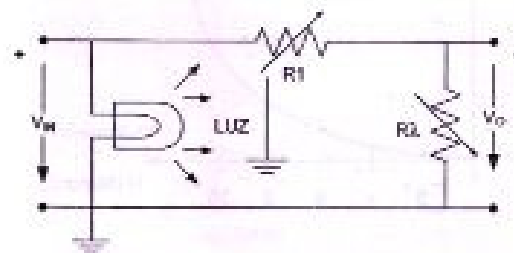


Figura 11.9. Circuito Regulador de Voltaje empleando una celda fotoconductoriva.

11.2.3. FOTOTRANSISTORES.

El FOTOTRANSISTOR es un dispositivo que tiene una unión P-N de colector de base fotosensible. La corriente inducida por efectos fotoeléctricos es la corriente de base del transistor. Si asignamos la notación I_b para la corriente de base fotoinducida, la corriente de colector resultante en la base, aproximada, es:

$$I_c \approx hfe \cdot I_b \tag{Ecuación 11.3}$$

En la figura 11.10 se presenta un conjunto representativo de características con su representación simbólica.

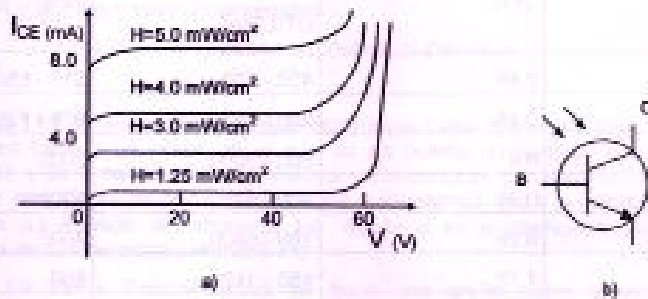


Figura 11.10. a) Características del fototransistor para diferentes valores de intensidad luminosa. b) Símbolo.

Nótese las similitudes entre estas curvas y las de un transistor bipolar típico. Como es de esperarse, un incremento en intensidad luminosa es un incremento en la corriente de colector I_C .

Para tener una idea de las magnitudes de la Intensidad luminosa $[H]$ y la corriente de base I_B , aparece el gráfico de la figura 11.11 a continuación, donde se indican dichos parámetros.

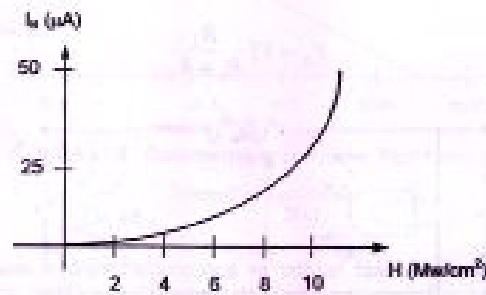


Figura 11.11. Corriente de base vs Intensidad luminosa.

En la figura 11.12, se muestra la estructura externa del fototransistor, en la que aparece el ángulo θ al cual se lo conoce como ángulo de alineamiento angular, y cuyo valor máximo es de 10° .

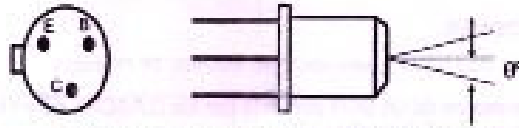


Figura 11.12. Estructura externa del fototransistor.

11.2.3.1. APLICACIONES.

Para lectores de tarjetas perforadas, diseño de circuitos lógicos, control luminoso, sistemas de conteo, etc.

EJEMPLO: Compuerta AND.

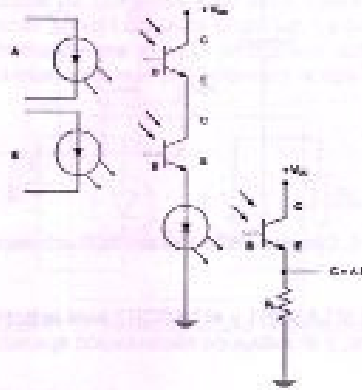


Figura 11.13. Compuerta AND con fototransistores.

11.2.4. SCR ACTIVADO POR LUZ (LASCR, LIGHT ACTIVATED SCR).

Es un SCR cuyo estado es activado por luz, que incide sobre una del semiconductor de silicio del dispositivo. En la figura 11.14, a continuación, se muestra su símbolo.

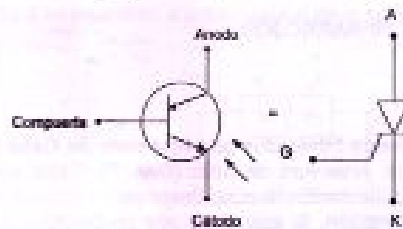


Figura 11.14. Símbolo del SCR Activado por Luz.

En estos dispositivos también se proporciona el terminal de compuerta, puesto que pueden ser disparados con los métodos típicos del SCR.

11.2.4.1. APLICACIONES.

Una aplicación interesante de un SCR activado por luz (LASCR), es en los circuitos AND y OR de la figura 11.15 a continuación.

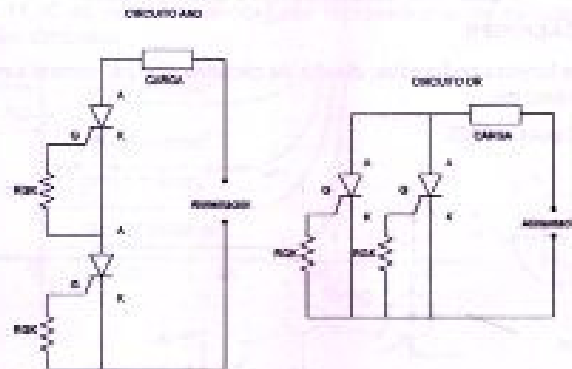


Figura 11.15. Circuitos AND y OR con SCR activados por luz.

Sólo cuando incide luz en el LASCR1 y el LASCR2 será aplicable la representación en cortocircuito para cada uno, y el voltaje de alimentación aparecerá en la carga.

El SCR activado por luz es más sensible a la luz cuando el terminal de compuerta está abierto. Su sensibilidad puede reducirse y controlarse un poco mediante una resistencia R_{GK} entre la compuerta y el cátodo como se indica en la figura 11.15.

11.3. DISPOSITIVOS EMISORES DE LUZ.

Básicamente son dos:

1. LED.
2. EMISORES INFRARROJOS.

11.3.1. LED.

Son dispositivos generalmente fabricados con Arseniuro de Galio (GaAs), Fosforo de Galio (GaP), o bien Fosforo Arseniuro de Galio (GaAsP). Estos son materiales que al ser energizados con una polarización directa, desprenden fotones de muy alta energía en el proceso de recombinación, lo que a su vez proporciona haces de luz cuyas frecuencias están dentro de prácticamente todo el espectro visible e incluso infrarrojo.

En la figura 11.16 se indica el símbolo del Diodo Emisor de luz LED.

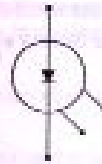


Figura 11.16. Símbolo del diodo emisor de luz LED.

11.3.1.1. APLICACIONES.

Los diodos emisores de luz son utilizados como indicadores en paneles electrónicos de control, también como Relevador semiconductor Óptico el cual se muestra en la figura 11.17.

Un relevador sirve para interrumpir indirectamente una corriente eléctrica mediante otra corriente. Así, el relevador semiconductor óptico de la figura 11.17, que no puede emplearse para aplicaciones de corrientes muy altas, opera de la siguiente manera: cuando una corriente circula por el LED, éste emite luz. La luz del LED incide sobre el fotodiodo, el cual conduce mientras el LED permanece activado. De este modo el fotodiodo actúa como un interruptor que se enciende y apaga por el LED.

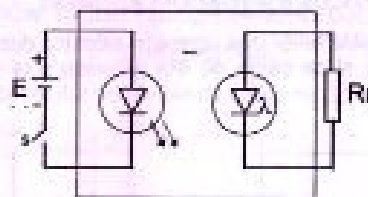


Figura 11.17. Relevador simple LED-fotodiodo.

11.3.2. EMISORES INFRARROJOS.

Son dispositivos de estado sólido de ARSENIURO DE GALIO, que emiten un haz radiante cuando se polarizan directamente. Cuando la unión se polariza en forma directa los electrones e^- de la región N se recombinan con los h^+ en exceso del material tipo P. Durante este proceso de recombinación se radia energía alejándose de la fuente en forma de fotones que abandonarán la superficie del dispositivo como energía radiante.

Su símbolo y estructura se muestran a continuación en la figura 11.18.

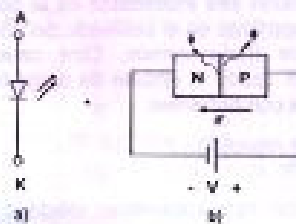


Figura 11.18. a) Símbolo. b) Estructura del Emisor Infrarrojo.

La relación entre el flujo radiante ϕ , y la corriente directa I_F se indica en la figura 11.19, donde el flujo está en [mW] y la corriente directa en [mA].

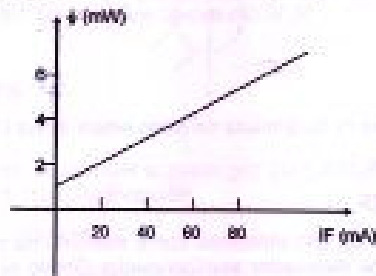


Figura 11.19. Flujo radiante ϕ vs Corriente directa I_F .

11.3.2.1. APLICACIONES.

Entre sus aplicaciones se incluyen: Lector de Tarjetas y Cintas Perforadas, Sistemas de Transmisión de Datos y Las Alarmas de Instrucción.

11.4. ACOPLADORES OPTICOS (OPTOACOPLADORES).

Generalmente no es deseable tener una conexión eléctrica directa entre el circuito de control de baja potencia y el de carga de alta potencia a la cual controla como se indica en la figura 11.20.

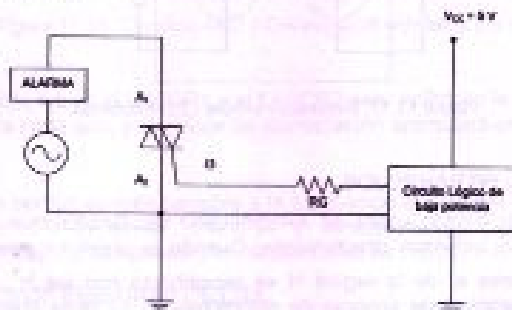


Figura 11.20. Circuito Lógico de baja potencia que controla una carga de alta potencia.

Un motivo para que esta conexión sea indeseable es la posibilidad de captación de ruido desde el circuito de alta corriente en el cableado del sistema de circuitos lógicos, especialmente en la línea de tierra común. Otra causa es la posibilidad de retroalimentación de alto voltaje desde el circuito de carga hasta el sistema lógico de control debido a una falla de los componentes.

Por consiguiente a menudo es necesario AISLAR ELECTRICAMENTE el circuito de control de baja potencia respecto al circuito de carga de alta potencia.

Los medios que permiten realizar este aislamiento eléctrico son los ACOPLADORES OPTICOS.

Los Acopladores Ópticos constan de una fuente luminosa (Normalmente un Diodo

Emisor de Infrarrojo IRED), un dispositivo sensible a la luz (Un FOTOTRANSISTOR) y un dispositivo de Conmutación. En la mayoría de los casos el sensor de luz y el dispositivo conmutador son el mismo.

Los diversos acopladores ópticos tienen diferentes capacidades de corriente de salida, así:

**11.4.1. LA COMBINACIÓN DIODO EMISOR INFRARROJO IRED/
FOTOTRANSISTOR.**

Puede conmutar corrientes de salida de sólo unos 10 [mA].

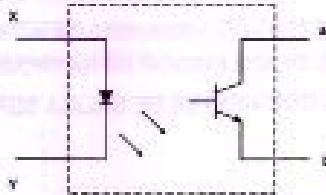


Figura 11.21. (A). Combinación IRED/FOTOTRANSISTOR.

**11.4.2. LA COMBINACIÓN: DIODO EMISOR INFRARROJO IRED / FOTO
DARLINGTON.**

Puede conmutar corrientes de salida de 50 a 100 [mA].

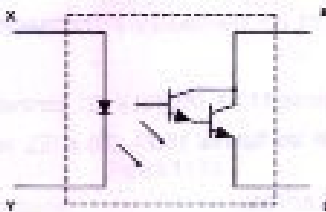


Figura 11.21. (B). Combinación IRED/FOTO DARLINGTON

**11.4.3. LAS COMBINACIONES: DIODO EMISOR INFRARROJO IRED / SCR
ACTIVADO POR LUZ LASCR y DIODO EMISOR INFRARROJO IRED / TRIAC.**

Typicamente pueden conmutar corrientes de salida de 500 [mA].

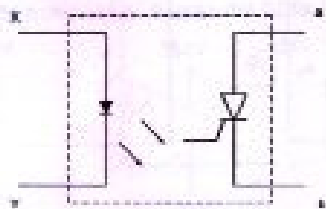


Figura 11.21. (C). Combinación IRED/LASCR.

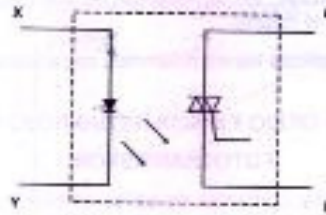


Figura 11.21. (D). Combinación IRED/TRIAC.

11.4.4. LA COMBINACIÓN: DIODO EMISOR INFRARROJO IRED / TRIAC / TRIAC. PUEDE CONMUTAR CORRIENTES DE SALIDA SUPERIORES A 1 [A].

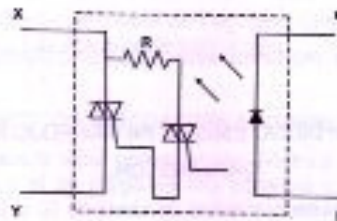


Figura 11.21. (E). Combinación IRED/TRIAC/TRIAC.

Donde los circuitos de las figuras 11.21. (A), (B) y (C), controlan ALIMENTACION DC. Mientras que los circuitos de las figuras 11.21. (D) y (E), controlan ALIMENTACION AC.

11.4.6. EJEMPLO DE APLICACION.

El circuito de la figura 11.22, consiste en un Aislamiento Eléctrico, proporcionado por un Acoplamiento Óptico.

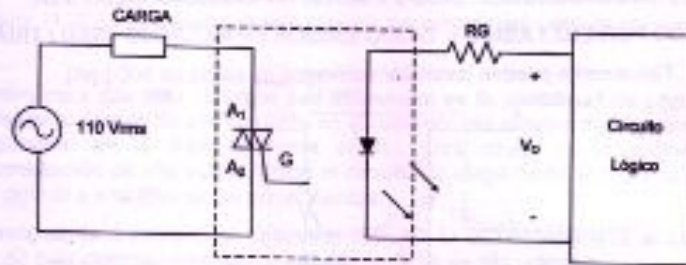


Figura 11.22. Aislamiento Eléctrico mediante un Acoplamiento Óptico (IRED/TRIAC).

11.5. PROBLEMAS RESUELTOS.

11.5.1. Para el circuito de la figura contestar:

- a) En el A.O. poner los signos de las entradas para lograr el disparo del SCR.
- b) Determinar el valor de R para que el ángulo de disparo del SCR "α" este entre: $30^\circ < \alpha < 150^\circ$
- c) Determinar el voltaje medio sobre R_L .

Suponer que el transistor del optocoplador se satura cuando el diodo emite luz y se puede producir el disparo del SCR.

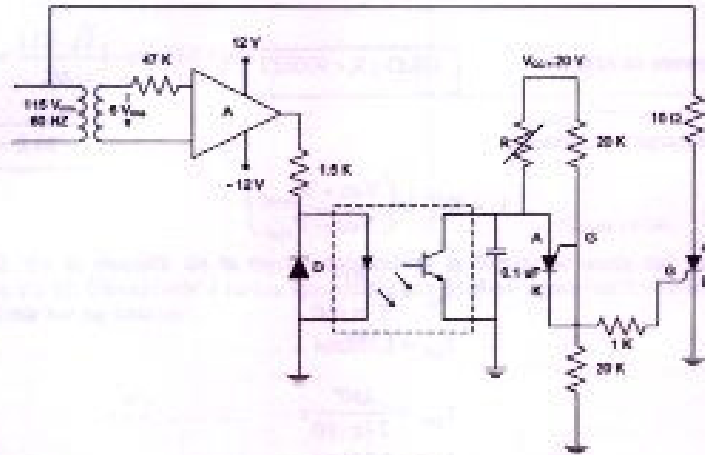


Figura 11.23.

El PUT tiene los siguientes datos:

$V_f = 1V$

$I_v = 1mA$

$I_p = 10\mu A$

- a) La polaridad del AO es como se muestra en la figura puesto que se necesita que el AO se sature en bajo en el semiciclo negativo de la señal de entrada, ya que de esta manera se consigue que el transistor se sature correctamente para que el capacitor pueda cargarse y permita el disparo del SCR.

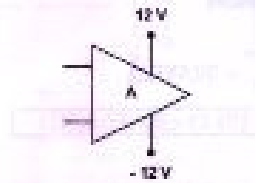


Figura 11.24.

b)

$$\frac{V_{cc} - V_V}{I_V} < R < \frac{V_{cc} - V_P}{I_P}$$

$$V_P = V_D + \frac{V_{cc} \cdot R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$V_P = 0.7V + \frac{20}{20 + 20} \cdot 20V$$

$$V_P = 10.7V$$

Reemplazando se obtiene:

$$19K\Omega < R < 930K\Omega$$

Tiempo de carga del capacitor

$$t_s = RC \cdot \ln\left(\frac{V_{cc} - V_{inicial}}{V_{cc} - V_{final}}\right)$$

$$t_{30^\circ} = \frac{30^\circ}{2 \cdot \pi \cdot 60} s$$

$$t_{30^\circ} = 1.388ms$$

$$t_{150^\circ} = \frac{150^\circ}{2 \cdot \pi \cdot 60} s$$

$$t_{150^\circ} = 6.944ms$$

$$t_{30^\circ} = R \cdot 0.1\mu \cdot \ln\left(\frac{20 - 0}{20 - 10.7}\right) \Omega$$

entonces

$$R_{30^\circ} = 18.126K\Omega$$

$$t_{150^\circ} = R \cdot 0.1\mu \cdot \ln\left(\frac{20 - 0}{20 - 10.7}\right) \Omega$$

entonces

$$R_{150^\circ} = 90.68K\Omega$$

$$19K\Omega < R < 90.68K\Omega$$

c)

$$V_{kl} = \frac{1}{T} \int_0^T 115 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin x dx$$

$$V_{RL} = \frac{1}{2\pi} \int_{30}^{150} 115 \cdot \sqrt{2} \sin x dx$$

$$V_{RL} = \frac{115 \cdot \sqrt{2}}{2\pi} (-\cos 180 + \cos 30)$$

$V_{RL} = 48.3V$

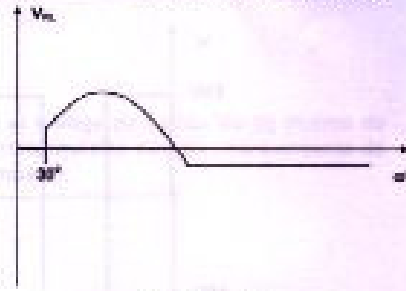


Figura 11.25.

$$V_{RL} = \frac{1}{2\pi} \int_{150}^{180} 115 \cdot \sqrt{2} \sin x dx$$

$$V_{RL} = \frac{115 \cdot \sqrt{2}}{2\pi} (-\cos 180 + \cos 150)$$

$V_{RL} = 3.46V$

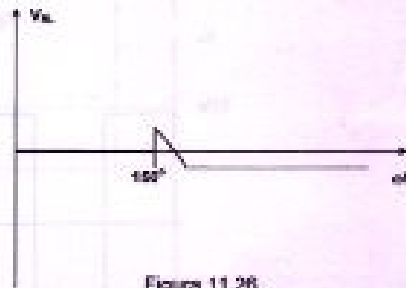


Figura 11.26.

11.5.2. En el circuito de la figura determinar la forma de onda del voltaje de salida $V_o(t)$. Considerar a todos los elementos ideales y que los fototransistores al recibir luz se saturan.

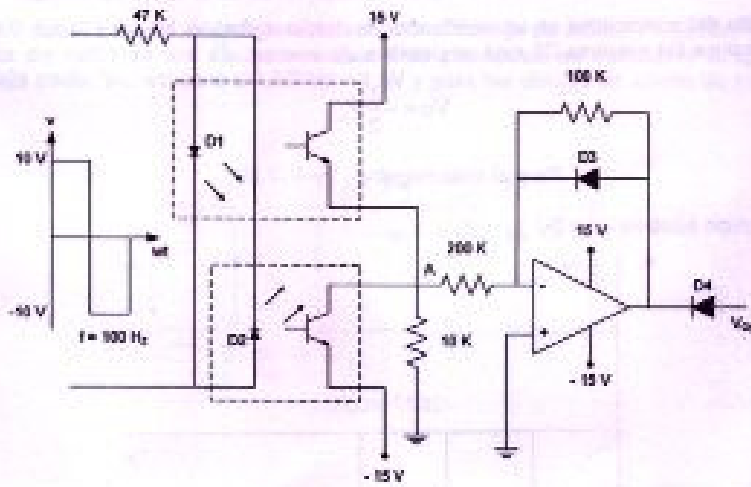


Figura 11.27.

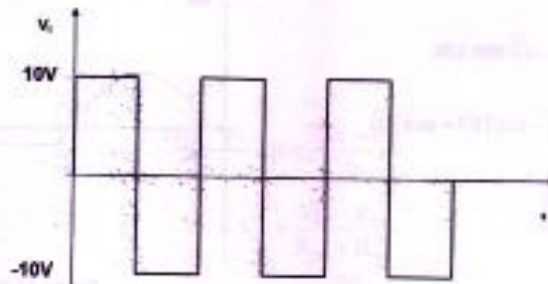


Figura 11.28.

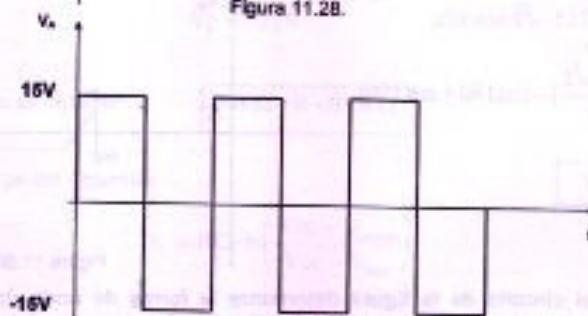


Figura 11.29.

Los diodos D1 y D2 conducen en forma alternada, por lo que saturan a sus respectivos transistores de la misma forma, por lo que el voltaje V_A es de la forma mostrada.

El circuito del operacional es un rectificador de media onda, por lo que al estar V_A en bajo conduce D4 mientras D3 está en polarización inversa.

$$V_o = -\frac{1}{2} V_A$$

Para el ciclo negativo, $V_o = -7.5V$.

Para el ciclo positivo $V_o = 0V$.

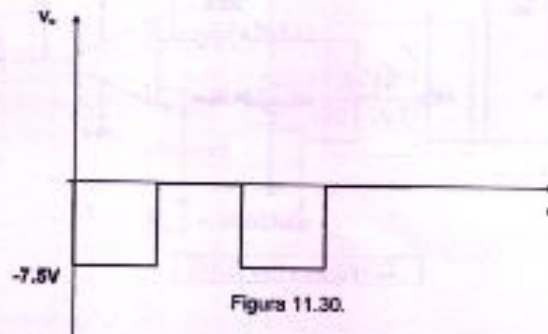


Figura 11.30.

11.6. PROBLEMAS PROPUESTOS.

11.6.1. En el circuito de la figura determinar el voltaje de salida $V_o(t)$ (forma de onda, frecuencia, etc.). Sabiendo que en el fototransistor circula una corriente de 3mA para un flujo luminoso incidente determinado.

Suponer a todos los elementos ideales.

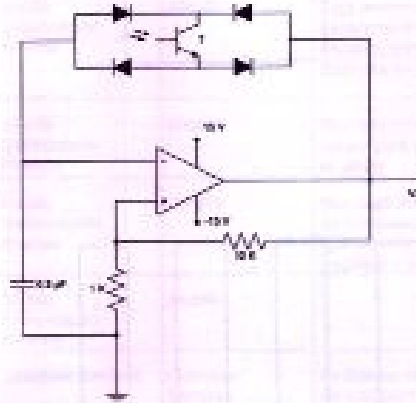


Figura 11.31.

11.6.2. En el circuito de la figura determinar el voltaje de salida V_o asumir que la caída de voltaje en los diodos cuando ellos conducen es constante e igual al voltaje V_c ; así para el LED $V_c = 1.5V$ y para los diodos de silicio $V_c = 0.7V$.

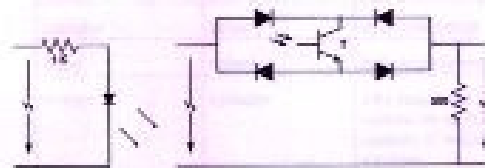


Figura 11.32

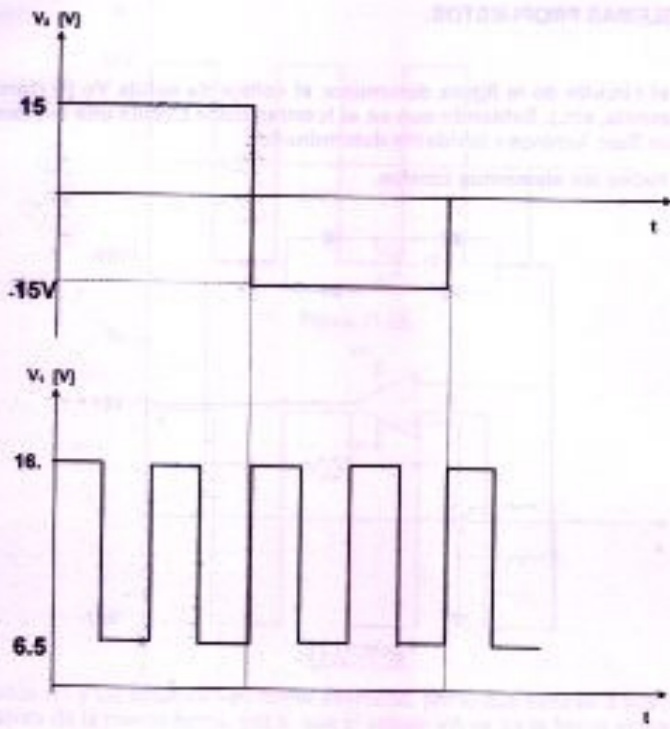


Figura 11.33

ANEXO

Verificación de semiconductores con un óhmetro:

Dispositivo	Terminal positiva del óhmetro conectado a	Terminal negativo conectado a	Resultados esperados
Diodos P-N (también diodos tener, fotodiodos y uniones P-N de cualquier dispositivo)	ánodo (polarización directa)	cátodo	Baja resistencia; normalmente 10 a 1000 Ω dependiendo del tipo de diodo y escala del óhmetro utilizada. Las lecturas deberán ser menores en escalas inferiores del óhmetro.
	cátodo (polarización inversa)	ánodo	Muy alta resistencia; típicamente 10 o mayor para el germanio y 100 o mayor para el silicio.
Diodos túnel	ánodo (polarización directa)	cátodo	Muy baja resistencia en cualquier sentido. La resistencia por lo general será ligeramente más baja cuando el ánodo sea negativo y el cátodo positivo.
	cátodo (polarización inversa)	ánodo	
Celdas fotoconductoras	cualquier terminal	cualquier terminal	La lectura del óhmetro deberá ser la misma en cualquier sentido y depende de la sensibilidad de la celda y la cantidad de luz ambiental. La resistencia de la celda deberá aumentar considerablemente cuando la celda esté en la oscuridad.
Fotodiodos, celdas fotovoltaicas y LED	IGUAL QUE	PARA LOS	DIODOS P-N
Transistor NPN	emisor	base	alta resistencia (unión polarizada inversamente) a menos que el voltaje del óhmetro exceda al voltaje de ruptura E-B _{rev}
	base	emisor	baja resistencia (unión polarizada)
	colector	base	alta resistencia
	base	colector	baja resistencia
	emisor	colector	Alta resistencia en ambos sentidos. La lectura es también normalmente más alta cuando el emisor es negativo y el colector positivo.
	colector	emisor	
Transistor PNP	Igual que para los PNP excepto que todas las polaridades están invertidas		
Diodo de 4 capas e interruptor unilateral de silicio SBS	Ánodo (polarización directa)	Cátodo	alta resistencia > 1MΩ
	Cátodo (polarización inversa)	Ánodo	Alta resistencia; normalmente es mayor que en el otro sentido, pero puede ser imposible detectarlo con algunos óhmetros
SBS y DIAC	Cualquier terminal	Cualquier terminal	> 1MΩ en cualquier sentido

Rectificador controlado de silicio (SCR), SCR activado por luz, interruptor controlado por compuerta (GCS)	Cátodos Intrínsecos ánodos (polarización directa)	Cátodo	> 1MΩ (podría ser menor para SCR con corrientes muy altas)
	Cátodos (polarización inversa)	Ánodo	> 1MΩ, pero usualmente es mayor que en el sentido directo
	Compuerta	Cátodo	Similar al diodo PN, con baja resistencia cuando la compuerta es positiva y alta resistencia cuando es negativa
	Cátodo	Compuerta	
	Compuerta	Ánodo	> 1MΩ en cualquier sentido
TRIAC	Cualquier ánodo, 1 ó 2	Cualquier ánodo 1 ó 2	Muy alta resistencia; > 1 MΩ, pero no puede ser menor en los TRIACS con corriente muy alta
	Compuerta	Ánodo 1	Baja resistencia en ambos sentidos
	Ánodo 1	Compuerta	
	Compuerta	Ánodo 2	Alta resistencia en ambos sentidos
Transistor monounión	Ánodo 2	Compuerta	
	Base1	Base2	Misma resistencia en cualquier sentido; típicamente 4 kΩ-10kΩ
	Base 2	Base1	
	Emisor (polarización directa)	Base 1	Resistencia moderada; normalmente en el intervalo de 3kΩ-15kΩ
	Base 1	Emisor	Muy alta resistencia; > 1MΩ
	Emisor (polarización directa)	Base 2	Resistencia moderada; normalmente en el intervalo de 2 kΩ-10kΩ usualmente menor que la resistencia directa emisor-base1
	Base 2	Emisor	Muy alta resistencia; > 1MΩ
UIT programable(PUT)	Ánodo	Cátodo	Alta resistencia; > 1 MΩ
	Cátodo	Ánodo	
	Ánodo	Compuerta	Baja resistencia (polarización directa)
	Compuerta	Ánodo	Alta resistencia
	Compuerta	Cátodo	Alta resistencia en cualquier sentido
JFET canal N	Cátodo	Compuerta	
	Drenaje	Fuente	Misma resistencia en cualquier sentido; típicamente de 500-5kΩ
	Fuente	Drenaje	
	Compuerta	Drenaje o Fuente	Baja resistencia (unión PN polarizada directamente)
	Drenaje o fuente	Compuerta	Alta resistencia; > 10MΩ al menos que el voltaje de la batería del óhmetro exceda al de disrupción del JFET

JFET canal P	Igual que para el canal N, excepto que todas las polaridades están invertidas		
E-Mofo et	Drenaje	Fuente	Muy alta resistencia: > 10MΩ
	Fuente	Drenaje	
	Compuerta	Drenaje o fuente	Muy alta resistencia: >100MΩ para cualquier sentido
DE-Mofo et	Drenaje	Fuente	Resistencia moderada; del orden de 500-5kΩ
	Fuente	Drenaje	
	Compuerta	Drenaje o fuente	Muy alta resistencia: > 100 MΩ para cualquier sentido
	Drenaje o fuente	Compuerta	

BIBLIOGRAFIA

- C. J. SAVANT, M. RODEN, G. CARPENTER; "Diseño Electrónico"; Editorial Addison - Wesley Iberoamericana S.A.; 1992
- H. LILEN; "Tiristores y Triacs"; Editorial Marcombo, 1991
- TEXAS INSTRUMENT; "Manual de la Texas Instruments".
- ROBERT F., COUGHLIN; "Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales"; Prentice Hall; 1999. 3ª edición.
- BOYLESTAD R, NASHELSKY L.; "Electrónica teoría de circuitos"; Prentice Hall; 8ª ed. 2003
- LURCH N.; "Fundamentals of Electronics"; New York; Wiley; 1971.
- MILLMAN J., HALKIAS C.; "Integrated electronics. Analog and Digital Circuits and Systems"; Tokyo. McGraw-Hill, Kogokusha; 1972.
- TARQUINO SÁNCHEZ A.; "Circuitos Electrónicos", Edición 2004, Quito – Ecuador

Autor: Ing. Tarquino Sánchez A
 tsanchez@mailfie.epn.edu.ec